



TUGAS AKHIR (MO 141326)

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH GELOMBANG IREGULER DAN ARUS TERHADAP *SCOURING* PADA PIPA KONDISI MELETAK DAN *IN-TRENCH*

DICKY DAMARA

NRP. 0431140000001

DOSEN PEMBIMBING :

Suntoyo, S.T., M. Eng., Ph. D.

Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



FINAL PROJECT (MO 141326)

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF IRREGULAR WAVES
AND CURRENTS AGAINST SCOURING BELOW PIPE WITH LAID AND IN-
TRENCH CONDITIONS

DICKY DAMARA

NRP. 0431140000001

SUPERVISORS :

Suntoyo, S.T., M. Eng., Ph. D.

Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH GELOMBANG IREGULER DAN
ARUS TERHADAP *SCOURING* PADA PIPA KONDISI MELETAK DAN
*IN-TRENCH***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program S-1 Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DICKY DAMARA

NRP. 04311440000001

Disetujui Oleh :

1. Suntoyo, S.T., M. Eng., Ph. D. (Pembimbing I)

2. Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M. Sc. (Pembimbing II)

3. Dr. Mahmud Mustain, M. Sc., Ph. D. (Penguji I)

4. Dr. Ir. Wahyudi, M. Sc. (Penguji II)

Surabaya, Juli 2018

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH GELOMBANG IREGULER DAN
ARUS TERHADAP *SCOURING* PADA PIPA KONDISI MELETAK DAN
*IN-TRENCH***

Nama : Dicky Damara

NRP : 04311440000001

Departemen : Teknik Kelautan

Dosen Pembimbing : Suntoyo, S.T., M. Eng., Ph. D.

Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc.

ABSTRAK

Pipa bawah laut merupakan infrastruktur transportasi fluida baik berupa gas, air dan minyak. Pemasangannya yang berada di bawah laut membuat pipa bawah laut menjadi sangat rawan akan terjadi *scouring* akibat respon sedimen disekitar pipa terhadap gelombang dan arus. Ancaman *scouring* tersebut bisa terjadi baik yang posisi meletak maupun terkubur (*In-trench*), Efek dari *scouring* pipa adalah *freecspan* yang semakin membesar seiring waktu. Apabila dibarkan, pipa akan mengalami gangguan stabilitas akibat beban statis yang diterima sehingga dalam waktu tertentu akan terdapat ancaman kegagalan. Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini akan dibahas mengenai studi eksperimen *scouring* pada pipa. Dalam penelitian ini digunakan model pipa dengan bahan PVC ukuran 1,5 inch dan panjang 25 cm. Pasir yang digunakan adalah pasir pantai dengan *Specify Graviti (GS)* 2,65 dan d_{50} 0.56 mm. Pengujian pipa tersebut dilakukan di *flume tank* dengan pengaruh gelombang ireguler dan arus. Terdapat 12 variasi yang dilakukan dalam eksperimen ini, 2 variasi H_i (6 cm dan 5 cm) ,2 variasi arus (14 cm/s dan 10 cm/s) dan 3 variasi peletakan (Meletak, *In-Trench 2mm* dan *In-Trench 4mm*). Setiap variasi dilakukan selama 25 menit dengan didokumentasikan perubahan *scouring* tiap lima menit sekali. Dari hasil dokumentasi tersebut selanjutnya akan di plot menggunakan

AutoCad kemudian diolah menggunakan Microsoft Excel untuk mengetahui dimensi dan kedalaman *scouring* yang terjadi dengan model 2D *scouring*.

Kata Kunci :*scouring*, arus, gelombang ireguler, pipa, meletak, *in-trench*, studi eksperimen

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF IRREGULAR WAVES AND CURRENTS AGAINST SCOURING BELOW PIPE WITH LAID AND IN-TRENCH CONDITIONS

Name : Dicky Damara
NRP : 04311440000001
Departement : Ocean Engineering
Supervisors : Suntoyo, S.T., M. Eng., Ph. D.
Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

ABSTRACT

Subsea pipeline is fluid transport infrastructure both in the form of gas, water and oil. Installation under the sea to make the pipeline under the sea became very prone will occur due to scouring surrounding sedimentary response of the pipe against the waves and currents. Threats the scouring can happen either resigned or been buried position (In-trench), the effect of scouring the pipeline is increasingly freespan enlarges over time. If left unchecked, the pipe will experience disturbance stability of result of static load is received within a specified time so that there is a threat of failure. Therefore, in this final assignment will be discussed regarding scouring experiment study on pipe. In this study used PVC pipe model with 1.5 inch size and length of 25 cm. Sand used is a sand beach with Specify Graviti (GS) 2.65 and d_{50} 0.56 mm. Pipe will be tested on flume tank in irregular waves and currents. There are 12 variations of this experiments that is 2 variations, H_i (6 cm and 5 cm), 2 the current variation (14 cm/s and 10 cm/s) and three variations of the placement ($e/D=0$, $e/D = -0.052$ and $e/D = -0.105$). Each variation is done for 25 minutes with the documented changes scouring every five minutes. Results from the documentation will then be in the plot using AutoCad were then processed using Microsoft Excel to find out the dimensions and depth of scouring going on with model 2D scouring.

Keyword: scouring, current, irregular wave, pipe, laying, in-trench, experimental study

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala dengan mengucapkan kalimat syukur *Alhamdulillah* penulis panjatkan, karena berkat nimat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Studi Ekperimental Pengaruh Gelombang Ireguler dan Arus Terhadap *Scouring* Pada Pipa Kondisi Meletak dan *In-Trench*”** dengan aman, selamat, lancar dan barokah. Adapaun tujuan penulisan ini adalah sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar dalam Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Di dalam Tugas Akhir ini membahas mengenai perubahan profil dasar dibawah pipa akibat pengaruh kombinasi gelombang ireguler dan arus.

Dalam penyusunan laporan ini, apabila masih terdapat kekliruan dan kekurangan, penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya. Kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan oleh penulis agar bisa memperbaiki dalam penulisan selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu dan teknologi di Indonesia khususnya dalam bidang rekayasa pantai.

Surabaya, 23 Juli 2018

Dicky Damara

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam seluruh kegiatan yang dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis tidak luput dari bantuan dan dukungan dari beberapa pihak baik secara langsung maupun tidak langsung mulai dari pemilihan topik hingga penyelesaian laporan. Penulis mengucapkan banyak terima kasih, khususnya kepada :

1. Bapak Poniman dan Ibu Sri Sayekti selaku orang tua penulis yang banyak memberikan motivasi belajar, bantuan finansial dan doa serta kepada Keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
2. Suntoyo, S.T., M. Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing pertama Tugas Akhir yang telah bersedia membimbing penulis, memberikan ilmu, pengalaman, masukan dan saran, serta dorongan semangat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M. Sc. selaku dosen pembimbing kedua Tugas Akhir yang telah bersedia memberikan ilmu dan masukan serta saran yang membangun dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Bapak M. Mochtar Arif selaku teknisi dan operator Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut yang telah bersabar dalam menemani, memberikan masukan dan saran dalam serangkaian kegiatan eksperimen yang dilakukan oleh penulis.
5. Teman-teman pengguna Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut, yang telah banyak memberikan semangat dan motivasi serta bantuan ketika melakukan eksperimen dan penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Teman “Pondok Pesantren Khoirul Huda 2” yang telah memberikan dukungan, motivasi dan doa kepada penulis.
7. Teman-teman Maelstrom – L32 yang telah memberikan informasi tentang Tugas Akhir dan Jurnal yang berkaitan dengan topik yang diangkat dalam Tugas Akhir ini.

Semoga Allah membalas semua kebaikan yang telah dilakukan. *Aamiin*.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
UCAPAN TERIMA KASIH	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I	
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
2.2 Rumusan Masalah	3
2.3 Tujuan Penelitian	3
2.5 Batasan Masalah.....	4
2.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 Gelombang Ireguler	8
2.2.2 Scouring	10
2.2.3 Kedalaman Scouring	12
2.2.4 Lebar Scouring	16
2.2.5 <i>Laju propagasi Terjadinya Scouring</i>	16
2.2.6 Pengaruh kedalaman <i>trenching</i> pada pipa.....	18
2.2.7 Pengujian <i>Specific Gravity</i> dan diameter tanah	19
2.2.8 Permodelan Fisik.....	20
BAB III	
METODOLOGI PENELITIAN	23

3.1	Langkah Kerja.....	23
3.2	Prosedur Penelitian	24
BAB IV		
PEMBAHASAN		31
4.1	Data Tanah	31
4.2	Data Gelombang.....	33
4.3	Data Arus	36
4.4	Hasil Pengukuran Kedalaman dan Lebar <i>Scouring</i>	37
4.4.1	Hasil Eksperimen <i>Scouring</i> untuk Pipa Kondisi Meletak.....	38
4.4.2	Hasil Eksperimen untuk Pipa Kondisi <i>In-Trench</i> 2 mm $e/D = -0.05$).....	54
4.4.3	Hasil Eksperimen untuk Pipa Kondisi <i>In-Trench</i> $e/D = -0.105$).....	65
4.5	Laju Propagasi <i>Scouring</i>	77
4.6	Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Rumus Empiris.....	78
4.7	Perbandingan Hasil Eksperimen.....	80
4.7.1	Perbandingan Eksperimen <i>Scouring</i> untuk Pipa Kondisi Meletak	81
4.7.2	Perbandingan Eksperimen <i>Scouring</i> untuk Pipa Kondisi <i>In-Trench</i> $e/D = -0.05$	84
4.7.3	Perbandingan Eksperimen <i>Scouring</i> untuk Pipa Kondisi <i>In-Trench</i> $e/D = -0.1$	87
4.8	Perbandingan Parameter Tak Berdimensi	88
4.9	Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Penelitian lain.....	93
BAB V 95		
PENUTUP.....		95
5.1	Kesimpulan	95
5.2	Saran.....	96
LAMPIRAN A.....		99
LAMPIRAN B		143

DAFTAR GAMBAR

Gambar.2.1 Proses penggerusan pada pipa (Arya 2012)	8
Gambar 2.2. Contoh Profile Gelombang Ireguler di Lautan.....	9
Gambar 2.3 <i>Seepage Flow</i> dibawah struktur pipa Berdasarkan (Sumer et al 2000)	11
Gambar 2.5 <i>Lee-wake erosion</i> dibawah pipa (Sumer dan FredsØe 2002).....	12
Gambar 2.7 Profile Kedalaman Berdasarakan nilai KC (Sumer dan FredsØe 1990)	16
Gambar 2.8 <i>Time Development</i> kedalaman <i>scouring</i> yang terjadi (Sumer dan FredsØe 2002).....	17
Gambar 2.9 Efek nilai e/D pada kedalaman <i>dimensional scour</i> (Yasa 2011)	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	23
Gambar 3.2 Ukuran dimensi pipa yang digunakan dalam pengujian	24
Gambar 3.3 <i>Flume Tank</i> Jurusan Teknik Kelautan ITS.....	26
Gambar 3.4 <i>Wave Probe</i>	27
Gambar 3.5 Layout Eksperimen Tampak Samping	29
Gambar 3.6 Layout Eksperimen Tampak Atas	29
Gambar 4.1 Grafik hasil uji tanah	33
Gambar 4.2 Input kalibrasi pada Wave Tide Meter pada Channel 1,3 dan 4.	34
Gambar 4.4 Hasil <i>Running Wavan</i>	35
Gambar 4.5 <i>Impeller Revolution</i> pembangkit arus.	36
Gambar 4.6 Kondisi awal ($t = 0$ menit) eksperimen <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,8533$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.972$ s.....	38
Gambar 4.7 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,8533$ cm dan $T_{\text{avg}} =$ 0.972 s	39
Gambar 4.8 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 10$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,8533$ cm dan T_{avg} $= 0.972$ s.....	39
Gambar 4.9 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 15$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,8533$ cm dan T_{avg} $= 0.972$ s.....	40

Gambar 4.10 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 20$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,8533$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.972$ s	40
Gambar 4.11 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,8533$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.972$ s	41
Gambar 4.12 Perubahan profil 2D <i>scouring</i> kondisi pipa meletak ($e/D = 0$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,8533$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.972$ s	41
Gambar.4.13 Profil 2D <i>scouring</i> kondisi awal ($t = 0$ menit) pipa meletak ($e/D = 0$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,763$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.6637$ s	42
Gambar 4.14 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,763$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.6637$ s	43
Gambar 4.15 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 10$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,763$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.6637$ s	43
Gambar 4.16 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,763$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.6637$ s	44
Gambar 4.17 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 20$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,763$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.6637$ s	44
Gambar 4.18 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 20$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,763$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.6637$ s	45
Gambar 4.19 Perubahan profil 2D <i>scouring</i> kondisi pipa meletak ($e/D = 0$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,763$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.6637$ s	45
Gambar.4.20 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi awal ($t = 0$ menit) dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,7867$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.70933$ s	46
Gambar 4.21 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada ($t = 5$ menit) dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,7867$ cm dan $T_{\text{avg}} =$ 0.70933 s	47
Gambar 4.22 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 10$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,7867$ cm dan $T_{\text{avg}} =$ 0.70933 s	47
Gambar 4.23 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,7867$ cm dan $T_{\text{avg}} =$ 0.70933 s	48

Gambar 4.24 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 20$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,7867$ cm dan $T_{\text{avg}} =$ 0.70933 s	48
Gambar 4.25 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,7867$ cm dan $T_{\text{avg}} =$ 0.70933 s	49
Gambar 4.26 Perubahan profil 2D <i>scouring</i> kondisi pipa meletak ($e/D = 0$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,7867$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.70933$ s	49
Gambar.4.27 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi awal ($t = 0$ menit) dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,667$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.701$ s	50
Gambar 4.28 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,667$ cm dan $T_{\text{avg}} =$ 0.70033 s	51
Gambar 4.29 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 10$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,667$ cm dan $T_{\text{avg}} =$ 0.70033 s	51
Gambar 4.30 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,667$ cm dan $T_{\text{avg}} =$ 0.70033 s	52
Gambar 4.31 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 20$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,667$ cm dan $T_{\text{avg}} =$ 0.70033 s	52
Gambar 4.32 Profil <i>scouring</i> pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,667$ cm dan $T_{\text{avg}} =$ 0.70033 s	53
Gambar 4.33 Perubahan profil 2D <i>scouring</i> kondisi pipa meletak ($e/D = 0$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,667$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.70033$ s	53
Gambar 4.35 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 2 mm pada kondisi awal ($t = 0$ menit) dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 8,3787$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,9009$ s..	54
Gambar 4.36 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 2 mm pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 8,3787$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,9009$ s	55
Gambar 4.37 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 2 mm pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 8,3787$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,9009$ s	55
Gambar 4.38 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 2 mm pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 8,38$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,91$ s	56
Gambar 4.39 Perubahan profil 2D <i>scouring</i> kondisi pipa meletak ($e/D = -0.05$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 8,38$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,91$ s.	56
Gambar 4.40 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 2 mm pada kondisi awal ($t = 0$ menit) dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 8,12$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,92$	57

Gambar 4.41 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 2 mm pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,12 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,92$.	57
Gambar 4.42 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 2 mm pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,12 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,92$.	58
Gambar 4.43 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 2 mm pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,12 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,92 \text{ s}$.	58
Gambar 4.44 Perubahan profil 2D <i>scouring</i> kondisi pipa meletak ($e/D = -0.05 \text{ mm}$) dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,12 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,92 \text{ s}$.	59
Gambar 4.45 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 2 mm pada kondisi awal ($t = 0 \text{ s}$) menit dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 9,04 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,99 \text{ s}$.	60
Gambar 4.46 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 2 mm pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 9,04 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,99 \text{ s}$.	60
Gambar 4.47 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 2 mm pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 9,04 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,99 \text{ s}$.	61
Gambar 4.48 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 2 mm pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 9,04 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,99 \text{ s}$.	61
Gambar 4.49 Perubahan profil 2D <i>scouring</i> kondisi pipa meletak ($e/D = 0 \text{ mm}$) dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 9,0385 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,9868 \text{ s}$.	62
Gambar 4.50 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 2 mm pada kondisi awal ($t = 0 \text{ s}$) menit dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,99 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.	63
Gambar 4.51 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 2 mm pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,99 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.	63
Gambar 4.52 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 2 mm pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,99 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.	64
Gambar 4.53 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 2 mm pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,99 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.	64
Gambar 4.54 Perubahan profil 2D <i>scouring</i> kondisi pipa meletak ($e/D = -0.05 \text{ mm}$) dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,99 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.	65
Gambar 4.55 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 4 mm pada kondisi awal ($t = 0 \text{ s}$) menit dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,46 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.	66
Gambar 4.56 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 4 mm pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,46 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.	66
Gambar 4.57 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 4 mm pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,46 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.	67
Gambar 4.58 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 2 mm pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,46 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.	67
Gambar 4.59 Perubahan profil 2D <i>scouring</i> kondisi pipa meletak ($e/D = -0.105 \text{ mm}$) dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,46 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.	68

Gambar 4.60 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 4 mm pada kondisi awal ($t = 0$ s) menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 7,99$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,93$ s.	69
Gambar 4.60 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 4 mm pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 7,99$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,93$ s.	69
Gambar 4.61 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 4 mm pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 7,99$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,93$ s.	70
Gambar 4.62 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 4 mm pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 7,99$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,93$ s.	70
Gambar 4.63 Perubahan profil 2D <i>scouring</i> kondisi pipa meletak ($e/D = -0.105$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 7,99$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,93$ s.	71
Gambar 4.64 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 4 mm pada kondisi awal ($t = 0$ s) menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 9,70$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,97$ s.	72
Gambar 4.65 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 4 mm pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 9,70$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,97$ s.	72
Gambar 4.66 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 4 mm pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 9,70$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,97$ s.	73
Gambar 4.67 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 4 mm pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 9,70$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,97$ s.	73
Gambar 4.68 Perubahan profil 2D <i>scouring</i> kondisi pipa meletak ($e/D = -0.105$) dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 9,70$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,97$ s.	74
Gambar 4.69 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 4 mm pada kondisi awal ($t = 0$ s) menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 9,58$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,92$ s.	75
Gambar 4.70 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 4 mm pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 9,58$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,92$ s.	75
Gambar 4.71 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 4 mm pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 9,58$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,92$ s.	76
Gambar 4.72 Profil <i>scouring</i> pada pipa <i>in-trench</i> 4 mm pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 9,58$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,92$ s.	76
Gambar 4.73 Perubahan profil 2D <i>scouring</i> kondisi pipa meletak ($e/D = -0.105$) dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 9,58$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,92$ s.	77
Gambar 4.75 Perbandingan Profil 2D <i>Scouring</i> gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi meletak dengan $t = 15$ menit.	82
Gambar 4.76 Perbandingan Profil 2D <i>Scouring</i> gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi meletak dengan $t = 25$ menit.	82
Gambar 4.77 Perbandingan Profil 2D <i>Scouring</i> gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi meletak pada $t = 5$ menit sampai $t = 25$ menit ...	83
Gambar 4.78 Perbandingan Profil 2D <i>Scouring</i> gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi $e/D = -0.05$ dengan $t = 5$ menit.	84

Gambar 4.80 Perbandingan Profil 2D <i>Scouring</i> gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi $e/D = -0.05$ dengan $t = 25$ menit	85
Gambar 4.81 Perbandingan Profil 2D <i>Scouring</i> gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi $e/D = -0.05$ pada $t = 5$ menit sampai $t = 25$ menit	86
Gambar 4.82 Perbandingan Profil 2D <i>Scouring</i> gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi $e/D = -0.1$ dengan $t = 5$ menit	87
Gambar 4.84 Perbandingan Profil 2D <i>Scouring</i> gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi $e/D = -0.1$ dengan $t = 25$ menit	88
Gambar 4.85. Grafik hubungan antara <i>Scour Depth</i> (S_m/D) dengan <i>wave steepness parameter</i> (H/gT^2).	89
Gambar 4.86. Grafik hubungan antara Lebar <i>Scouring</i> (W_m/D) dengan <i>wave steepness parameter</i> (H/gT^2).	89
Gambar 4.87. Grafik hubungan antara Lebar <i>Scouring</i> (W_m/D) dengan nilai KC (Keulegan-Carpenter).	90
Gambar 4.88. Grafik hubungan antara Lebar <i>Scouring</i> (W_m/D) dengan nilai KC (Keulegan-Carpenter).	90
Gambar 4.89. Grafik hubungan antara Kedalaman <i>Scouring</i> (S_m/D) dengan nilai e/D (burial depth-diameter ratio)	91
Gambar 4.90. Grafik hubungan antara Lebar <i>Scouring</i> (W_m/D) dengan nilai KC e/D (burial depth-diameter ratio).	91
Gambar 4.91. Grafik hubungan antara Kedalaman <i>Scouring</i> (S_m/D) dengan nilai <i>shield parameter</i> (θ).....	92
Gambar 4.93 Perbandingan dengan penelitian sebelumnya,	93

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Variasi pada Eksperimen	25
Tabel 4.1 Hasil Pengujian <i>Specific Gravity</i>	31
Tabel 4.2 Hasil analisa pembagian butir tanah	32
Tabel 4.4 Variasi Arus eksperimen	37
Tabel 4.1 Propagasi Scouring tiap variasi eksperimen	78
Tabel 4.2 Perhitungan Laju Propagasi dengan metode iterasi	78
Tabel 4.3 Hasil perhitungan nilai KC	79
Tabel 4.4 Hasil validasi nilai <i>Sd (Scour Depth)</i>	79
Tabel 4.5 Hasil validasi nilai <i>Wd (Lebar Scouring)</i>	80
Tabel 4.6 Perbandingan <i>Scour Depth (Sd)</i> variasi gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi meletak pada $t = 5$ menit sampai $t = 25$ menit	83
Tabel 4.7 Perbandingan <i>Scour Depth (Sd)</i> variasi gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi meletak pada $t = 5$ menit sampai $t = 25$ menit	86

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jaringan pipa bawah laut merupakan salah satu infrastruktur yang banyak digunakan untuk memindahkan berbagai macam fluida seperti air, gas dan minyak. Salah satu aspek yang sangat penting dalam proses *installasi* jaringan pipa tersebut adalah *scouring* (penggerusan). Jika *scouring* terjadi di sekitar jaringan pipa maka akan mengganggu stabilitas jaringan pipa. Masalah tersebut mengancam kondisi lingkungan dan ekonomi apabila sampai terjadi kegagalan. Maka, *scouring* merupakan salah satu aspek yang besar untuk diteliti sehingga dapat dilakukan pencegahan kegagalan khususnya pada struktur *subsea pipeline*.

Scouring merupakan salah satu fenomena yang banyak dialami oleh struktur bawah laut akibat perubahan pola aliran gelombang, arus, maupun kombinasi keduanya (Novia, 2017). Aliran disekitar pipa akan membawa material tanah sebagai penyangga beban statis dari pipa sehingga stabilitas pipa terganggu akibat gerusan tanah tersebut. *Scouring* bisa terjadi pada pipa, baik yang posisi meletak maupun yang terbenam di dalam tanah dengan kedalaman tertentu (Suntoyo, 2016). Freespan pipa bawah laut adalah suatu keadaan dimana terbentuk bentangan pipa dengan panjang tertentu memiliki jarak (gap) terhadap seabed (Umar, 2017). Apabila hal ini dibiarkan, maka bentangan pipa tersebut akan mengakibatkan kerusakan atau *bending* yang diakibatkan beban statis pada pipa. Karena besarnya bahaya dari pengaruh *scouring* maka banyak dilakukan penelitian mengenai topik ini. Mulai dari penelitian Yasa, R (2011) dengan judul *Prediction of the Scour Depth under Submarine Pipelines – in Wave Condition* yang melakukan studi menggunakan pendekatan matematis. Juga Cheng et al (2011) melakukan eksperimen 3D *scouring* pada pipa dengan parameter gelombang, arus dan kombinasi keduanya menggunakan alat *flume-tank*. Selain peneliti tersebut, beberapa mahasiswa Departemen Teknik Kelautan ITS juga pernah melakukan penelitian mengenai

scouring, diantaranya Dimas (2017) melakukan eksperimen menggunakan *flume-tank* untuk meneliti efek gelombang ireguler pada *scouring* dalam kondisi pipa meletak dan *in-trench*. Penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa semakin tinggi gelombang yang mengenai struktur pipa, maka semakin besar pula kedalaman dan lebar *scouring* yang terbentuk dan juga apabila $e/D \leq 0$, semakin besar nilai e/D , maka kedalaman dan lebar *scouring* yang terbentuk juga semakin besar. apabila $e/D \geq 0$, semakin besar nilai e/D , maka kedalaman dan lebar *scouring* yang terbentuk juga semakin kecil. Ditahun yang sama Novia (2011) juga melakukan eksperimen pada pipa posisi meletak dan *in-trench*. Hasilnya adalah bahwa pengaruh posisi pipa (e/D) terhadap karakteristik *scouring* yaitu semakin dalam pipa dibenamkan, maka semakin kecil kedalaman dan lebar *scouring* yang terjadi. Di tahun selanjutnya Nugraha (2012) melakukan analisa pengaruh *scouring* pada pipa bawah laut (Studi Kasus Pipa Gas Transmisi SSWJ Jalur Gas Labuhan Maringgai – Muara Bekasi). Analisis tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa semakin dalam kedalaman *scouring* yang timbul maka span gap ratio juga akan bertambah yang berpengaruh pada nilai koefisien added mass (C_a). Nilai C_a akan dijadikan sebagai perhitungan mencari panjang *freespan* yang diijinkan yaitu semakin dalam *scouring* maka semakin kecil panjang *freespan* yang diijinkan.

Dari beberapa penelitian diatas, terdapat beberapa masalah khusus terkait dengan kondisi sesungguhnya dimana laut memiliki kombinasi gelombang dan arus. Maka dalam penelitian ini dilakukan studi eksperimen pengaruh kombinasi arus dan gelombang ireguler pada *scouring* di sekitar pipa menggunakan *flume-tank* Jurusan Teknik Kelautan ITS. Sebelum eksperimen dilakukan maka perlu dilakukan persiapan seperti pembuatan model terlebih dahulu kemudian dilakukan analisa dan pembahasan mengenai hasil eksperimen yang telah dilakukan.

2.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana hasil kedalaman *scouring* disekitar pipa pada kondisi meletak dan *in-trench* akibat kombinasi arus dan gelombang ireguler?
2. Bagaimanakah hubungan kedalaman dan lebar scouring terhadap pipa kondisi meletak dan *in-trench* akibat pengaruh kombinasi arus dan gelombang ireguler?
3. Bagaimanakah perubahan propagasi *scouring* disekitar pipa pada kondisi meletak dan *in-trench* akibat kombinasi arus dan gelombang ireguler?
4. Bagaimanakah perbedaan kedalaman dan lebar *scouring* antara variasi gelombang saja dengan variasi gelombang dan arus?

2.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui kedalaman dan lebar scouring yang terjadi pada kondisi pipa meletak dan *in-trench* akibat kombinasi arus dan gelombang ireguler.
2. Mengetahui hubungan kedalaman dan lebar scouring terhadap pipa kondisi meletak dan *in-trench* akibat kombinasi arus dan gelombang ireguler dengan variasi tinggi gelombang dan kedalaman air.
3. Mengetahui perubahan propagasi *scouring* disekitar pipa pada kondisi meletak dan *in-trench* akibat kombinasi gelombang ireguler dan arus.
4. Mengetahui perbedaan kedalaman *scouring* antara variasi gelombang saja dengan variasi gelombang dan arus.

2.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian dengan studi eksperimental ini yaitu untuk mengetahui *scouring* yang terjadi akibat faktor tinggi gelombang, pola arus, kondisi pipa terhadap dasar, dan kedalaman air. Hasil dari eksperimen digunakan sebagai validasi analisis secara numerik yang telah dilakukan penelitian sebelumnya.

2.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberikan dalam tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Analisa yang dilakukan berupa 2D *scouring*.
2. Jenis gelombang yang digunakan adalah tipe ireguler.
3. Pipa diletakan di dasar laut dan terbenam di dalam pasir.
4. Kemiringan pasir/tanah diabaikan.
5. Pipa tidak terlindungi apapun.
6. Sudut aliran air terhadap pipa tegak lurus ($\alpha = 90^\circ$)
7. Ukuran diameter tanah d_{50} .
8. Ukuran diameter pipa 1,5 in.
9. Berat jenis dan tebal pipa sebenarnya diabaikan
10. Model uji pipa berbahan PVC
11. Variasi pada eksperimen yaitu e/D dan tinggi gelombang
12. Nilai $e/D \leq 0$

2.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Berisi tentang gambaran mengenai pelaksanaan penelitian yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan yang menjawab rumusan masalah, manfaat dan batasan masalah yang akan ditinjau dalam penelitian.

BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Berisi tentang teori-teori maupun rumus yang menunjang pengerjaan penelitian. Penjelasan tersebut berasal dari buku, jurnal, tugas akhir terdahulu, dan lain sebagainya.

BAB III Metodologi Penelitian

Berisi mengenai langkah-langkah yang akan dilakukan selama proses penelitian. Secara teknis mulai dari awal pengerjaan hingga akhir.

BAB IV Analisa Hasil

Berisi tentang analisa dari seluruh hasil penelitian yang telah dilakukan menggunakan rumus empiris yang telah di tulis pada dasar teori maupun referensi lainnya.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Hasil yang telah dihitung akan dapat disimpulkan dan diberi saran untuk penelitian selanjutnya.

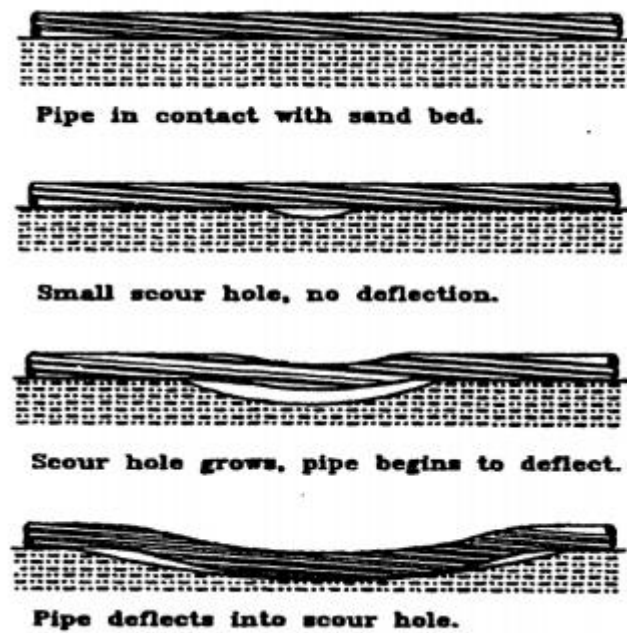
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Jaringan pipa di pasang di lingkungan laut untuk mentransportasikan gas dan *crude oil* dari *offshore platform*, dan untuk sistem pembuangan industri serta limbah air perkotaan ke laut (Sumer and Fredsoe 2002). Jaringan pipa yang di pasang di lingkungan laut untuk mentransportasikan minyak dan gas dari bangunan lepas pantai menjadi “jaringan kehidupan” bagi industri migas (Arya 2012). Biasanya, pipa memiliki ukuran diameter sekitar 20-30 cm sampai dengan lebih dari satu meter dan memiliki panjang bisa berpuluh-puluh kilometer tergantung dari design dan panjangnya sistem yang dihubungkan. Peletakan pipa bisa di permukaan dasar atau secara terkubur. Peletakan pipa yang berada di dasar laut menyebabkan terganggunya pola aliran fluida. Hal inilah menyebabkan terjadinya penggerusan (*scouring*) dibawah pada pipa. *Scouring* bisa terjadi pada pipa, baik yang posisi meletak maupun yang terbenam di dalam tanah dengan kedalaman tertentu (Suntoyo, 2016). *Scouring* pada struktur lepas pantai yang berdiri tegak dapat mengakibatkan struktur tersebut mengalami *subsidence* sehingga gap antara dek dengan gelombang tertinggi yang didesain menjadi berkurang sedangkan jika terjadi pada struktur yang terdapat pada permukaan dasar laut seperti jaringan pipa bawah laut dapat mengakibatkan *freespan* (Nugraha 2012). *Free span* dapat terjadi ketika kontak antara pipa dengan dasar lalu hilang dan memiliki jarak pada permukaan dasar laut (Guo 2005). Apabila hal ini dibarkan, maka efek terburuknya bisa memicu terjadinya kegagalan.



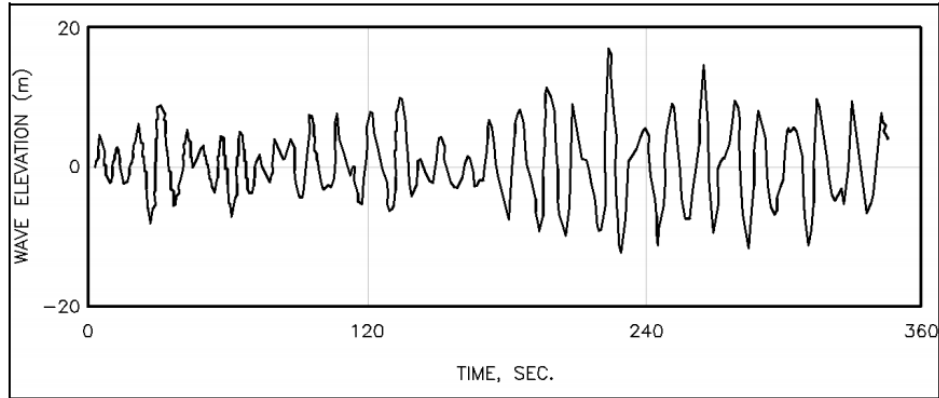
Gambar.2.1 Proses penggerusan pada pipa (Arya 2012)

Penelitian mengenai penggerusan (*scouring*) banyak dilakukan secara intensif oleh beberapa peneliti. Zhou, *et. al* (2011) dalam jurnalnya yang berjudul *An experimental study of seabed responses around a marine pipeline under wave and current conditions* menjelaskan tentang respon seabed pada pipa bawah laut akibat kondisi gelombang dan arus. Proses penelitian secara studi eksperimental dengan menggunakan *flume*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Gelombang Ireguler

Permukaan air laut sebenarnya tersusun dari variasi tinggi gelombang dan periode yang bergerak dengan arah yang berbeda-beda sehingga membentuk gelombang acak atau ireguler. Tinggi dan periode gelombang bisa berbeda-beda di setiap waktu dan tempat tergantung dari kecepatan angin yang berhembus.



Gambar 2.2. Contoh Profile Gelombang Ireguler di Lautan
(Coastal Engineering Manual Part II-1 Water Wave Mechanics)

Dalam perhitungan kedalaman dan lebar scouring, parameter yang dibutuhkan adalah frekuensi (ω) dan wave number (k) untuk menghitung orbital velocity. Berikut adalah rumus perhitungan (ω) dan k .

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad 2.1$$

Atau juga dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$\omega^2 = gk \tanh(kh) \quad 2.2$$

Namun, untuk menghitung U_m , frekuensi yang dipakai adalah frekuensi pada puncak spektrum JONSWAP, ω_p (spectral peak frequency) dengan rumus yang hampir sama seperti Persamaan 2.1 dan 2.2, sebagai berikut.

$$\omega_p = \frac{2\pi}{T_p} \quad 2.3$$

$$\omega_p^2 = gk_p \tanh(k_p h) \quad 2.4$$

Nilai k dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$k_p = \frac{2\pi}{\lambda_p} \quad 2.5$$

Dengan,

ω = frekuensi (Hz)

ω_p = frekuensi pada puncak spektrum (Hz)

h = kedalaman perairan (m)

k_p = wave number (m^{-1})

λ_p = panjang gelombang (m)

2.2.2 Scouring

Scouring merupakan proses pengangkatan butir-butir material lapisan tanah (*seabed*) akibat gaya hidrodinamik disekitar struktur laut. *Scouring* juga bisa disebut sebagai bentuk spesifik dari bentuk umum dari erosi. Struktur yang di letakan di laut menyebabkan berubahnya pola aliran di lingkungan sekitarnya sehingga terbentuknya *vortex*, turbulensi, refraksi dan difraksi gelombang serta terjadi perbedaan tekanan sehingga memungkinkan adanya butir-butir lapisan tanah terbawa olah arus.

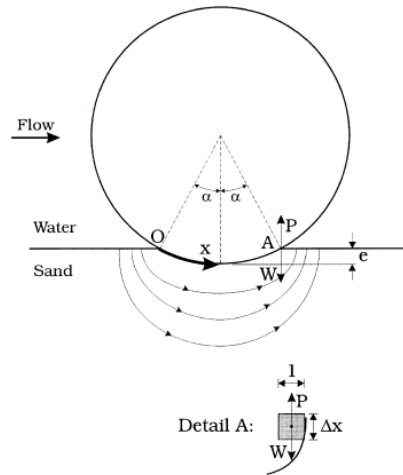
Berdasarkan Sumer dan Fredsøe (2002) proses scouring terjadi dari tiga tahapan yaitu:

1. *Onset of Scour*

Ketika pipa diletakan di dasar laut maka struktur tersebut akan mengganggu pola aliran dan arus. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan diantara *upstream* dan *downstream* pada pipa yang akan mengakibatkan terjadinya *seepage flow* (aliran rembesan) dibawah pipa.

Bila kecepatan arus meningkat maka *seepage flow* juga akan meningkat sehingga tidak hanya menggerus butiran-butiran pasir dibawah pipa, akan tetapi juga pada bagian *downstream*. Sehingga pada waktu tertentu pasir akan menumpuk dan tergerus oleh arus air. Proses inilah yang dinamakan piping, yang lebih dikenal dengan mekanika tanah yang dapat menyebabkan kegagalan pada struktur, seperti pipa, bendungan, cofferdams dll (Terzaghi & Peck, 1948).

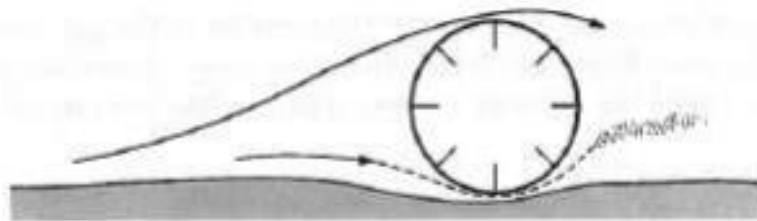
Sumer dan Fredsøe juga meneliti onset of scour akibat gelombang. Terdapat dua gaya yaitu agitating force (seepage force) dan resisting force (berat tanah). Kondisi kritis akan terjadi apabila seepage force (P) melebihi berat tanah (W).



Gambar 2.3 *Seepage Flow* dibawah struktur pipa Berdasarkan (Sumer et al 2000)

2. *Tunnel Erosion* (Fase penggerusan aliran)

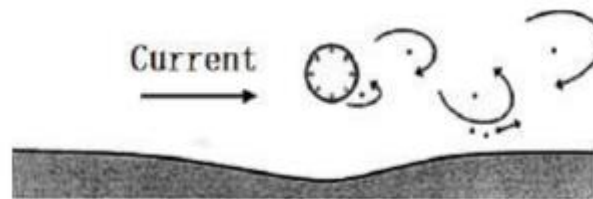
Tahap terjadinya scouring dibawah pipa selanjutnya adalah *tunnel erosion*. Pada fase ini terjadi celah kecil dibawah pipa dengan ukuran lebih kecil daripada diameter pipa, $e \ll D$, dimana e adalah gap/celah dibawah pipa, D adalah diameter pipa. Gap yang terjadi dibawah pipa diakibatkan oleh kecepatan aliran sehingga menghasilkan gaya geser yang lebih besar pada bagian bawah pipa. Tunnel Erosion adalah “keandalan” dengan menurunkan kecepatan aliran di celah dibawah pipa sehingga celah dibawah pipa semakin membesar.



Gambar 2.4 Tunnel Erosion dibawah Pipa (Sumer dan Fredsøe 2002)

3. Scouring akibat *lee-wake erosion*

Celah kecil pada pipa (*tunnel erosion*) yang semakin membesar sehingga memasuki tahap *lee-wake erosion*. Pada kondisi ini *scouring* yang terjadi mencapai kondisi tetap (*equilibrium*) dimana banyaknya pasir yang terbentuk di bawah pipa sama dengan banyaknya pasir yang tergerus keluar di lubang *scouring*.



Gambar 2.5 *Lee-wake erosion* dibawah pipa (Sumer dan Fredsøe 2002)

Pada saat gap antara pipa dengan *seabed* mengalami kedalaman yang dalam (titik kritis), sebagian besar *scouring* yang terjadi dipengaruhi oleh *vortex-shedding*. Gambar 2.5 memperlihatkan *vortex-shedding* terjadi dibelakang pipa sehingga mempengaruhi gerak sediment dibawah pipa.

2.2.3 Kedalaman Scouring

Kedalaman *scouring* terjadi dari beberapa tahap. Dimulai dari peletakan pipa di dasar laut (*zero gap*) yang kemudian mengalami proses *seepage flow* (aliran rembesan) dibawah pipa. Proses tersebut membuat *gap* yang kecil dengan ukuran ($e \ll D$). Gap tersebut memicu terjadinya *scouring* dengan jumlah gerakan sediment yang besar. Sehingga, pada titik tertentu kedalaman *scouring* mengalami titik kritis sehingga terjadi kondisi tetap (*equilibrium stage*) dimana banyaknya sedimen yang terbentuk sama dengan sedimen yang tergerus oleh aliran (gambar 2.6). Kondisi tetap (*equilibrium stage*) tercapai ketika gaya gesek sepanjang dasar dibawah pipa menjadi konstan dan sama dengan nilai *undisturbed* yang bisa disebut:

$$\tau = \tau_{\infty} \quad (2.5)$$

Transport sedimen dibawah pipa akan menjadi sama setelah semua tahap terlewati sehingga mencapai titik tetap (*equilibrium stage*) dimana sedimen yang masuk ke lubang scouring akan sama dengan yang keluar dari lubang scouring.

Terdapat beberapa variasi yang mempengaruhi kedalaman *scouring*. Sumer dan Fredsøe (2002) mengenai perhitungan *scouring*:

- a. Kedalaman *scour* di aliran steady (arus)

Hubungan empiris antara *equilibrium stage* sudah dipelajari oleh Kjeldsen et al. (1973) dengan persamaan sebagai berikut:

$$S = 0.972 \left(\frac{V^2}{2g} \right)^{0.2} D^{0.8} \quad (2.6)$$

Dengan:

S = Kedalaman Scouring (m)

D = Diameter Pipa (m)

V = Kecepatan Aliran (m/s)

Persamaan 2.6 hanya valid pada rentang $9.84 \times 10^3 < Re_{\text{pipe}} < 2.05 \times 10^5$. Bijker dan Leeuwestein (1983) menyempurnakan persamaan 2.6 dengan penambahan parameter diameter rata-rata butiran, d_{50} .

$$S = 0.972 \left(\frac{V^2}{2g} \right)^{0.2} D^{0.8} (d_{50})^{-0.04} \quad (2.7)$$

Persamaan 2.6 digunakan untuk khusus dimensionally homogeneous equation. Sedangkan hubungan dalam rumus sebelumnya yang membahas mengenai *nondimensional scour depth* S/D , dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{S}{D} = f(k^*, Re, \theta) \quad (2.8)$$

$$k^* = \frac{k_s}{D} \quad (2.9)$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (2.10)$$

$$\theta = \frac{U_f^2}{g(s-1)d} \quad (2.11)$$

k^* = kekasaran relative (*relative roughness*) (Persamaan 2.9)

Re = Reynolds Number (Persamaan 2.10)

θ = Shields parameter (Persamaan 2.11)

Nilai U_f merupakan kecepatan *undisturbed flow*, yang dapat dihitung dengan Persamaan Colebrook – White.

$$\sqrt{\frac{2}{f}} = \frac{V}{U_f} = 8.6 + 25 \ln \left(\frac{D}{2k_b} \right) \quad (2.12)$$

V merupakan nilai kecepatan *undisturbed flow* di tengah-tengah pipa. k_b adalah kekasaran dasar yang biasanya bernilai 2,5 d.

b. Kedalaman *scour* dipengaruhi irregular wave

Cheng et al. (2014) telah melakukan uji eksperimental *scouring* dengan menggunakan *flume* dengan pengaruh gelombang dan kombinasi gelombang arus. Propagasi scouring rata-rata menurun ketika semakin meningkatnya *embedment depth*. Akan tetapi meningkat seiring nilai Keuglegan-Carpenter (KC) meingkat. Nilai KC dapat dicari dengan beberapa cara seperti: $KC = U_m T_z / D$; $U_m T_s / D$; $U_m T_p / D$; $U_s T_z / D$; $U_s T_s / D$; $U_s T_p / D$.

Sehingga rumus kedalaman *scouring* dengan khusus gelombang irregular dapat diprediksi dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{s}{D} = 0.1 \sqrt{KC} = 0.1 \sqrt{\frac{U_m T_p}{D}} \quad (2.13)$$

Dengan nilai:

$$U_m = \sqrt{2\sigma_u} \quad (2.14)$$

σ_u merupakan kecepatan orbital r.m.s (m/s)

$$\sigma_u^2 = \int_0^\infty S(f)df \quad (2.15)$$

Dengan,

U_m = kecepatan orbital maksimum (m/s)

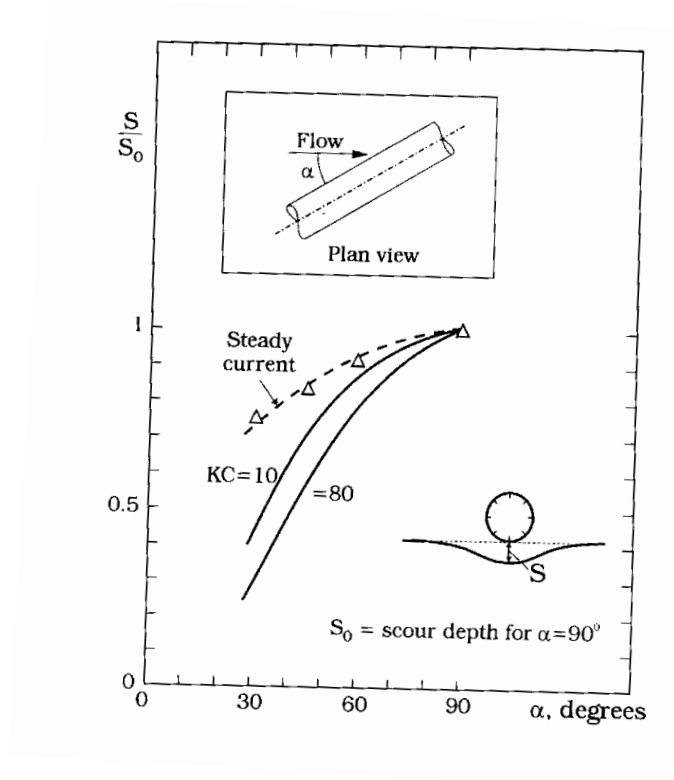
T_p = periode puncak spektrum (s)

D = diameter luar pipa (m)

d = kedalaman perairan (m)

c. Efek sudut datang terhadap kedalaman *scour*

Salah satu faktor penting dalam pembentukan kedalaman *scouring* adalah sudut datang atau sudut datangnya arus. Kedalaman *scouring* mengalami penurunan akibat mengurangi sudut datang gambar 2.6. Faktanya *vortex shedding* dalam *equilibrium stage* menjadi lebih berkurang pengaruhnya akibat sudut datang.



Gambar 2.6 Efek dari Angle of Attack

- d. Efek kedalaman air terhadap kedalaman *scour*

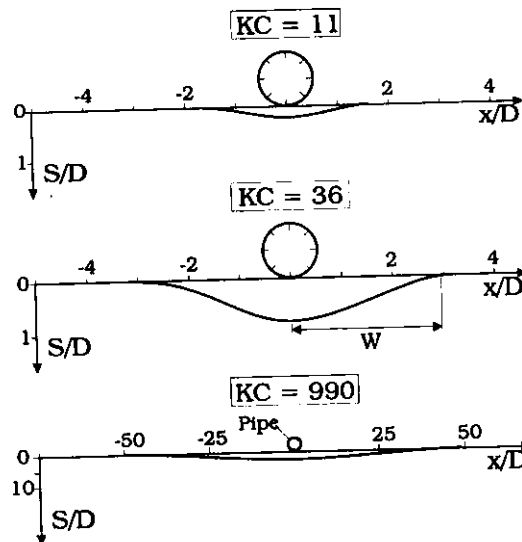
Kedalaman air menjadi salah satu faktor penting dalam kedalaman *scouring*. Ketika kedalaman air meningkat maka lebih banyak air yang akan melewati bawah pipa.

2.2.4 Lebar Scouring

Lebar *scouring* sangat dipengaruhi oleh nilai KC. Semakin besar nilai KC maka semakin besar lebar *scouring* yang terjadi disekitar pipa. Sumer dan Fredsøe (1990) telah melakukan percobaan *scouring* dibawah pipa dengan variasi nilai KC (gambar 2.7). Dari hasil tersebut, lebar *scouring* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{W}{D} = 0.35 KC^{0,65} \quad (2.16)$$

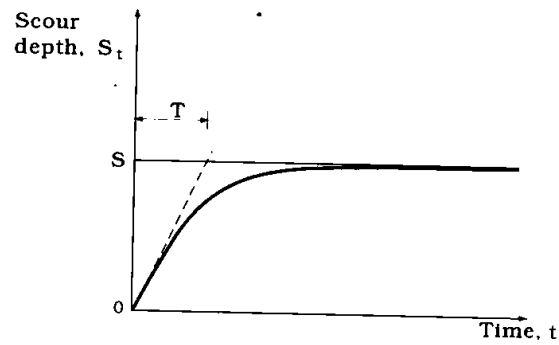
Nilai W adalah lebar *scouring* yang diukur dari tengah-tengah pipa hingga titik ujung lubang *scouring* yang dihasilkan.



Gambar 2.7 Profile Kedalaman Berdasarkan nilai KC (Sumer dan Fredsøe 1990)

2.2.5 Laju propagasi Terjadinya Scouring

Kedalaman *scouring* akan mengalami fase konstan (*equilibrium stage*) setelah mengalami transisi dari beberapa fase. Pada waktu tertentu kedalaman *scouring* akan konstan (gambar 2.8)



Gambar 2.8 *Time Development* kedalaman *scouring* yang terjadi
(Sumer dan Fredsøe 2002)

Berikut adalah persamaan yang dapat digunakan untuk memprediksi waktu terjadinya *scouring*:

$$S_t = S(1 - \exp(-\frac{t}{T})) \quad 2.17$$

Dimana,

S = kedalaman *scouring* pada *equilibrium stage* (m)

T = *laju propagasi* dari proses *scouring*

Terdapat beberapa variasi yang mempengaruhi persamaan *laju propagasi* terjadinya *scouring*. Diantaranya adalah:

a. *Laju propagasi* pada arus steady

Pada nondimensional grounds, *laju propagasi* dapat dituliskan dalam persamaan nondimensional berikut:

$$T^* = f(\theta) \quad 2.18$$

Dimana θ adalah *Shield* parameter, dan T^* = *laju propagasi* normal.

$$T^* = \frac{(g(s-1)d^3)^{1/2}}{D^2} \quad 2.19$$

Dalam persamaan nondimensional sebelumnya juga memperoleh persamaan *normalizing* dari kontinuitas sedimen.

b. *Laju propagasi* pada gelombang

Dalam khasus gelombang salah satu parameter yang mempengaruhi laju propagasi adalah nilai Keulegan-Carpenter (KC).

$$T^* = f(\theta, KC) \quad 2.20$$

2.2.6 Pengaruh kedalaman *trenching* pada pipa

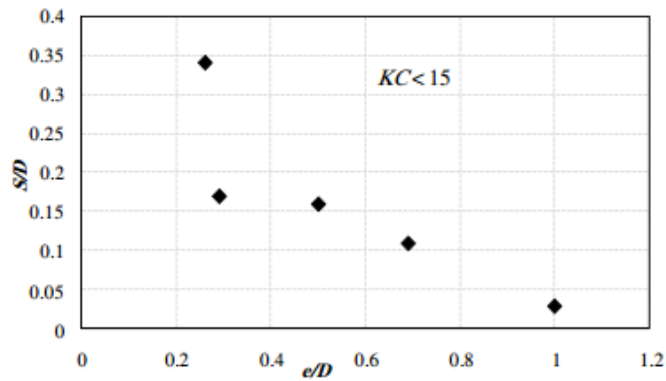
Suntoyo (2016) menjelaskan bahwa scouring bisa terjadi pada pipa, baik yang posisi meletak maupun yang terbenam di dalam tanah dengan kedalaman tertentu. Dalam Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi Nomor 300.K/38/M.PE/1997 (Keselamatan Kerja Pipa Penyalur Minyak dan Gas Bumi) dalam Pasal 7 Pasal 1 dijelaskan bahwa penggelaran pipa penyalur baik di darat maupun di laut dapat dilakukan dengan cara ditanam atau diletakkan di permukaan tanah. Dalam instalasinya, peletakan pipa memang bisa diposisikan meletak atau *in-trench* (terkubur). Yasa (2011) melakukan percobaan mengenai prediksi kedalaman *scouring* dibawah pipa bawah laut dengan pengaruh gelombang. Didalam percobaan terdapat prediksi kedalaman scouring dengan parameter e/D . Rumus paling simpel dan paling akurat yang dapat digunakan adalah sebagai berikut.

$$\frac{s}{D} = 0.1KC^{0.53} \exp(-1.54e/D) \quad 2.21$$

Persamaan 2.21 digunakan untuk memprediksi kedalaman *scouring* pada *live bed condition*.

$$\frac{s}{D} = 0.07KC^{0.59} \exp(-\frac{1.54e}{D} + 1.02\theta) \quad 2.22$$

Sedangkan untuk persamaan 2.22 digunakan untuk memprediksi kedalaman scouring pada *live bed* dan *clear water conditions*. Semakin besar nilai e/D semakin berkurang kedalaman scouring yang terjadi.



Gambar 2.9 Efek nilai e/D pada kedalaman *dimensional scour*
(Yasa 2011)

2.2.7 Pengujian *Specific Gravity* dan diameter tanah

Didalam pengujian *scouring* dibutuhkan tanah atau pasir sebagai media yang tergerus akibat peletakan pipa. Supaya percobaan dapat dilakukan maka perlu dilakukan pengujian *specific gravity* dan diameter tanah. Pengujian *specific gravity* digunakan untuk mencai *Grain Size* (GS) dari tanah. Nilai GS tanah dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$GS = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad 2.23$$

Dengan,

W_1 = berat piknometer (m)

W_2 = berat piknometer + tanah kering (gr)

W_3 = berat piknometer + tanah + air (gr)

W_4 = berat piknometer + air (gr)

GS (at 27°C) = GS(at T1°C) x A ; A adalah faktor koreksi dengan nilai 0,9986

Pengujian diameter tanah berfungsi untuk mengetahui d_{50} dari *sample* tanah/pasir yang akan digunakan.

2.2.8 Permodelan Fisik

Percobaan di laboratorium memiliki masalah baru yaitu harus ditentukan *prototype* atau model yang ukurannya sesuai dengan ukuran sesungguhnya. Dikarenakan didalam percobaan di laboratorium khususnya *flume* pasti terdapat pengaruh masa jenis fluida dan viskositas fluida yang tidak bisa dimodelkan. Maka, pendekatan yang paling cocok digunakan dalam percobaan *scouring* adalah dengan menggunakan *Froude Number* yang juga sudah banyak digunakan dalam permasalahan gelombang.

Keserupaan Froude,

$$Fr = \frac{u_p^2}{gl_p} = \frac{u_m^2}{gl_m} \quad 2.24$$

Dimana,

u_p = *model fluid velocity* (m/s)

u_p = *prototype fluid velocity* (m/s)

l_p = panjang pada *prototype* (m)

l_m = panjang yang dimodelkan (m)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Dalam hal ini model yang digunakan harus diskala dari ukuran yang sebenarnya sehingga bisa disesuaikan dengan tempat eksperimen.

$$l_p = \lambda l_m \quad 2.25$$

Panjang sebenarnya dikalikan dengan λ sebagai faktor skala. Hal yang sama digunakan dalam penentuan skala model dengan metode Froude. Maka dapat diperoleh persamaan gelombang baru sebagai berikut.

$$H_{pro} = \lambda H_{mod} \quad 2.26$$

$$T_{pro} = \sqrt{\lambda T_{mod}} \quad 2.27$$

Dengan,

$H_{pro} = \text{Prototype Wave Height (m)}$

$H_{mod} = \text{Model Wave Height (m)}$

$T_{pro} = \text{Prototype Wave Period (m)}$

$T_{mod} = \text{Model Wave Period (m)}$

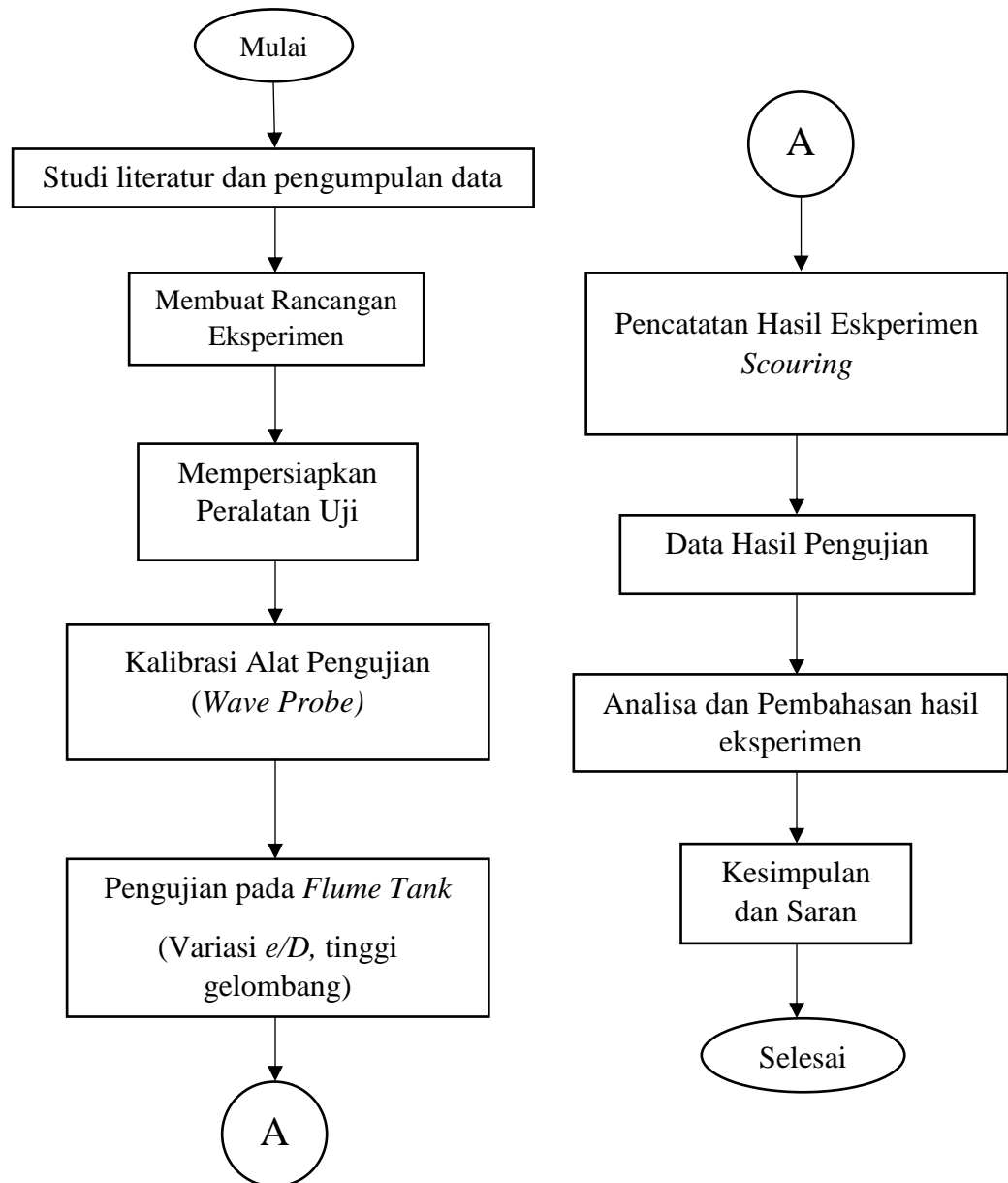
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Langkah Kerja

Metodologi penelitian yang digunakan dalam Tugas Akhir ini dapat digambarkan dalam diagram alir (flow chart diagram) sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Prosedur Penelitian

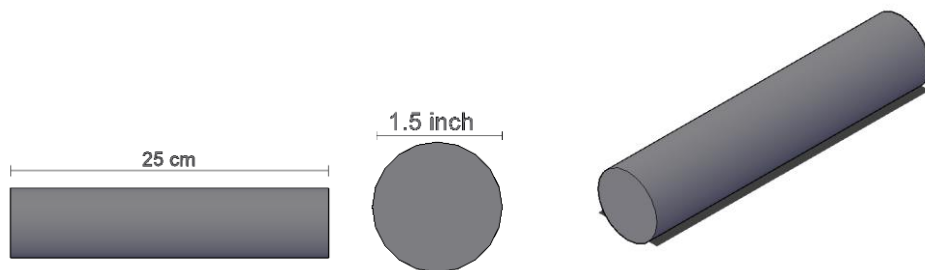
Berdasarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1, langkah-langkah penelitian dalam Tugas Akhir ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Sebelum melakukan eksperimen maka dilakukan pemahaman mengenai teori-teori, buku atau penelitian terdahulu yang membahas pokok permasalahan yang berhubungan dengan tugas akhir ini. Literatur tersebut digunakan sebagai acuan ataupun referensi dalam menentukan rumusan masalah yang diangkat dalam Tugas Akhir ini.

2. Membuat Rancangan Eksperimen

Agar penelitian bisa dilakukan maka dari itu harus dirancang variabel-variabel yang diperlukan saat pengujian. Variabel tersebut meliputi tinggi gelombang, periode, jenis gelombang, arus dan sebagainya. Model yang digunakan adalah pipa berbahan PVC (*Polyvinyl Chloride*) dengan dimensi sebagai berikut:



Gambar 3.2 Ukuran dimensi pipa yang digunakan dalam pengujian

Pada saat eksperimen, terdapat beberapa variasi peletakan pipa baik meletak dan *in-trench* serta variasi tinggi gelombang yang akan digunakan dalam pengujian. Pipa diletakan diatas tanah yang berasal dari jenis pasir pantai yang memiliki ukuran diameter d_{50} atau 0.38 mm. Berikut variasi yang digunakan dalam eksperimen:

Tabel 3.1 Variasi pada Eksperimen

Percobaan ke-	Jenis Peletakan	H (cm)	V arus (cm/s)	T (s)
1	Meletak	5	14	1
2	Meletak	5	10	1
3	Meletak	6	14	1
4	Meletak	6	10	1
5	(e/D=-0.105)	5	14	1
6	(e/D=-0.105)	5	10	1
7	(e/D=-0.105)	6	14	1
8	(e/D=-0.105)	6	10	1
9	(e/D=-0.052)	5	14	1
10	(e/D=-0.052)	5	10	1
11	(e/D=-0.052)	6	14	1
12	(e/D=-0.052)	6	10	1

3. Mempersiapkan Material/ Alat Uji

Peralatan yang digunakan adalah :

a. *Flume Tank*

Flume tank pada Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS berukuran 20 m x 2,3 m x 2,5 m (panjang, lebar, tinggi). Pembangkit angin dengan sistem blower kecepatan maksimum 10 m/s. Pembangkit arus dengan sistem impeller dengan kecepatan 2,5 hingga 10 cm/s. Pembangkit gelombang sistem plunyer dengan karakteristik gelombang reguler dan irreguler maksimum 30 cm, periode 0,5 - 3,0 detik, dan kedalaman air maksimum 80 cm.

Dalam eksperimen ini dibutuhkan lebar flume tank 25 cm dan pembangkit gelombang reguler. Kedalaman air pada model uji 50 cm dan 40 cm².



Gambar 3.3 *Flume Tank* Jurusan Teknik Kelautan ITS (Dokumen Pribadi)

b. Kamera

Ketika dilakukan perobaan, laju propagasi *scouring* akan berubah sehingga akan mencapai kedalaman *scouring* maksimum dibawah pipa. Fungsi kamera disini adalah agar dapat diketahui rentang waktu perubahan kedalaman *scouring* secara visual. Kamera diletakan sejajar dengan pipa sehingga memudahkan pengamatan.

c. Peralatan Uji Tanah

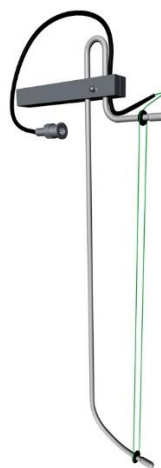
Agar pengujian dapat dilakukan maka perlu diketahui data empiris mengenai *specific gravity* dan ukuran diameter tanah (d_{50}). Maka diperlukan dua jenis peralatan uji yaitu peralatan untuk menguji *specific gravity* dan pengujian d_{50} . Peralatan yang digunakan dalam proses pengujian tanah untuk mencari *specific gravity* adalah :

1. Neraca
2. Cawan
3. Oven
4. Piknometer
5. Termometer
6. Botol berisi aquades

Peralatan uji ayakan untuk mendapatkan ukuran d_{50} tanah adalah :

1. Ayakan berbagai ukuran lubang dengan nomor ayakan 4 yang menunjukkan ukuran diameter besar hingga ayakan nomor 200 ukuran diameter paling kecil.
 2. Neraca
 3. Lengser sebagai tempat sampel tanah
 4. Sikat pembersih ayakan
 5. Sekop untuk memasukkan sampel tanah ke plastik
 6. Plastik
- d. *Wave Probe*

Agar dapat diketahui data tinggi gelombang saat pengujian, maka diperlukan alat untuk mengukurnya. Alat untuk mengukur gelombang pada *flume tank* bisa menggunakan *Wave Probe*. Cara kerja *wave probe* menggunakan elektroda untuk mengukur konduktivitas air. Konduktivitas tersebut berubah secara proporsional sesuai dengan perubahan elevasi muka air tiap waktu. Jumlah *wave probe* yang digunakan dalam eksperimen adalah sebanyak dua buah yang diletakan di depan pipa dan dibelakang pipa.



Gambar 3.4 *Wave Probe*

e. Penggaris

Ketika pengujian dilakukan maka diperlukan *penggaris* untuk mengukur perubahan kedalaman dan lebar *scouring* yang terjadi tiap interval percobaan.

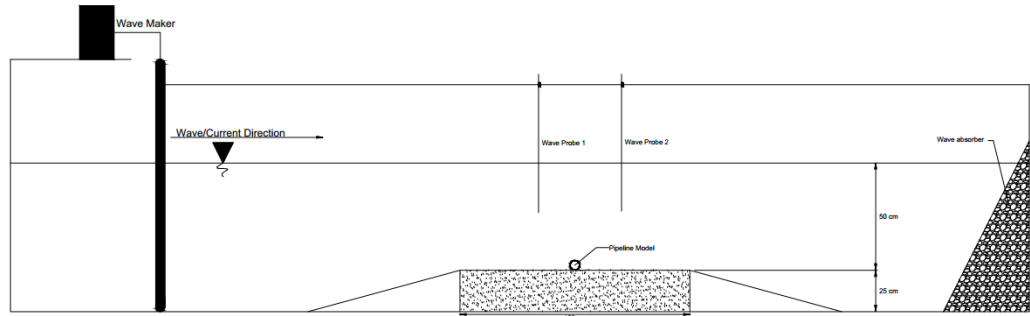
4. Kalibrasi Alat Pengujian

Kalibrasi dilakukan guna untuk mengetahui kebenaran nilai yang ditunjukkan alat ukur saat digunakan. Alat ukur dalam pengujian ini adalah *wave probe*. Kalibrasi *wave probe* digunakan untuk mencari hubungan antara perubahan elektrode *wave probe* yang tercelup air dengan perubahan voltase yang tercatat dalam alat perekam. Sebelum pengujian perlu ditentukan suatu titik yang dianggap menjadi titik nol dan dilanjutkan dengan merekam kenaikan dan penurunan *wave probe* setiap 5 cm sebanyak tiga kali. Hasil akhir kalibrasi dapat digunakan untuk menentukan tinggi gelombang pada *flume* sehingga sesuai dengan perbandingan tinggi gelombang sebenarnya.

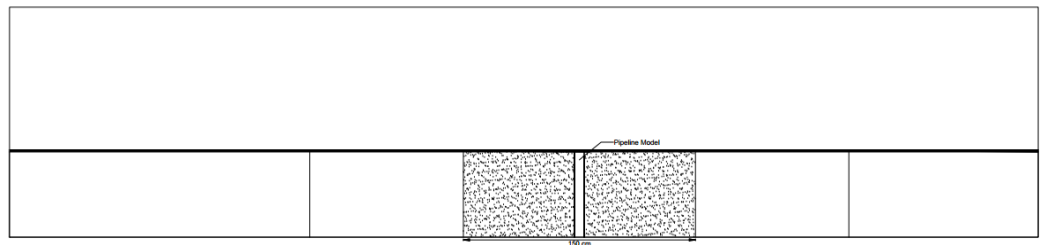
5. Pengujian *Scouring*

Pengujian dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Departemen Teknik Kelautan dengan menggunakan alat bernama *flume tank*. Dengan ukuran 20 m x 2,3 m x 2,5 m (panjang, lebar, tinggi), *flume tank* ini dapat mensupport tiga jenis pembangkit sebagai variasi yaitu pembangkit angin, pembangkit arus dan pembangkit gelombang. Variasi yang digunakan dalam percobaan ini adalah dengan tiga variasi gelombang, sedangkan untuk kecepatan arus dan periode gelombang menggunakan angka yang sama. Pengamatan dilakukan secara 2D dari samping. Posisi pipa melintang dengan kondisi meletak dan *in-trench*. Alat bantu *wave probe* diletakan didepan pipa dan dibelakang pipa. Sebelum perngujian maka ditentukan waktu agar terjaci *scouring* yang akan dijadikan acuan

dalam percobaan. Kedalaman air yang digunakan dalam eksperimen ini adalah 50 cm dan kedalaman pasir 25 cm.



Gambar 3.5 Layout Eksperimen Tampak Samping



Gambar 3.6 Layout Eksperimen Tampak Atas

6. Pencatatan Hasil Eksperimen *Scouring*

Pencatatan nilai ketika dilakukan eksperimen perlu dilakukan sehingga akan didapatkan data agar bisa di analisa lebih lanjut. Pencatatan perubahan kedalaman dan lebar *scouring* dilakukan tiap 5 menit sekali yang kemudian data tersebut diolah menggunakan software design untuk menentukan profil 2D yang terjadi di bawah pipa.

7. Analisa dan Pembahasan Hasil Pengujian

Setelah didapatkan data hasil percobaan, maka hasil tersebut perlu dianalisa dan dibahas lebih lanjut lagi untuk memperoleh hasil akhir yang sebenarnya berdasarkan eksperimen yang dilakukan.

8. Kesimpulan dan Saran

Langkah terakhir dalam penulisan hasil eksperimen yang berisi kesimpulan dan saran berdasarkan eksperimen dan analisa yang dilakukan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, terdapat empat variabel bebas yang digunakan sebagai perbandingan untuk mengukur kedalaman dan lebar *scouring* yang terjadi dibawah pipa, yaitu tinggi gelombang (H), periode gelombang (Ti), kecepatan arus (V) dan peletakan pipa (e/D). Dengan variabel tersebut terbagi menjadi 12 variasi, yaitu dua variasi tinggi gelombang, dua variasi kecepatan arus, dan tiga variasi kedalaman *trench*. Sebelum pengujian dilakukan di lab flume, pasir yang digunakan diuji terlebih dahulu untuk mengetahui spesifikasi dari pasir. Setelah itu, eksperimen *scouring* dapat dilakukan. Hasil yang diperoleh dari eksperimen ini adalah untuk mengetahui data kedalaman, lebar *scouring* dan laju propagasi sedimen disekitar pipa. Dalam melakukan eksperimen perlu dilakukan pencatatan gelombang dengan *wave probe* untuk mendapatkan data perubahan elevasi muka air saat gelombang dibangkitkan.

4.1 Data Tanah

Agar mengetahui data *Grain Size (GS)* dan d_{50} tanah maka dilakukan pengujian *specific gravity* (SG) dan *sieve analysis* (ayakan). Setelah dilakukan pengujian, berikut adalah hasil pengujian tanah yang akan digunakan dalam studi eksperimen *scouring* ini.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Specific Gravity*

Nomor Piskometer			23	12	Avg
Berat piknometer kosong					
Berat piknometer + air suling		gr	336.21	352.39	
Berat pikno + air + tanah kering		gr	349.48	366.23	
Volume of solid	Vs	cc	8.02	8.32	
Volume of void	Vv	cc	8.99	8.69	
Berat volume tanah (Density)		gr/cc	1.328	1.36	1.344
Berat volume kering		gr/cc	1.251	1.302	1.2765
Kadar Air	Wc	%	6.21	4.47	5.34
Derajat Kejenuhan	Sr	%	14.68	11.39	13.035

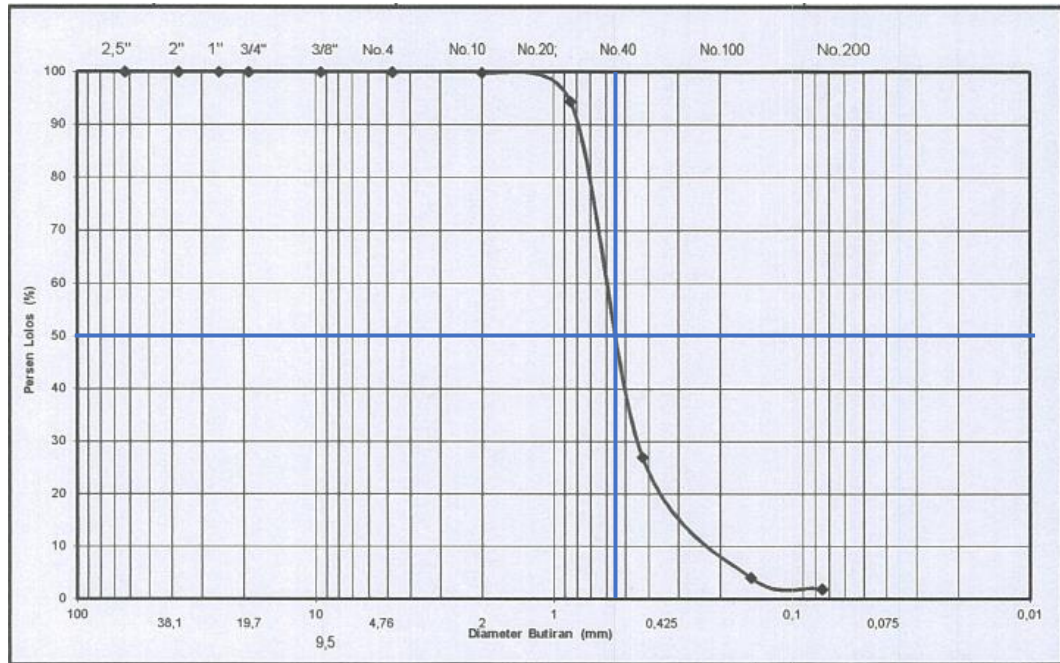
Porositas	n	%	52.87	51.1	51.985
Angka Pori	e		1.122	1.045	1.0835
Temperatur (oC)	T	oC	28	28	28
Corection Factor			0.998	0.998	0.998
Specifik Gravity	Gs		2.653	2.662	2.6575

Dari data tabel tersebut, nilai dari GS untuk sample tanah diatas dapat diperoleh dari rata-rata hasil analisa GS antara piknometer 23 dengan piknometer 12 yaitu sebesar 2,65.

Tabel 4.2 Hasil analisa pembagian butir tanah

Berat Tanah Kering		=		500	gr
Berat Mangkok		=		26.95	gr
Sieve		Berat Tertahan		%	%
#	Ø (mm)	gr		Tertahan	Lolos
2.5"	63				100
1 1/2"	37.5				100
1"	25.4				100
3/4"	19.1				100
3/8"	9.5				100
4	4.76				100
10	2	27.45	0.5	0.1	99.9
20	0.85	54.44	27.5	5.5	94.4
40	0.425	363.96	337	67.4	27
100	0.149	141.57	114.6	22.92	4.08
200	0.075	37.66	10.7	2.14	1.93
Pan		35.15	8.2	1.64	
		498.5	99.71		

Agar nilai dari d_{50} didapatkan, nilai dalam tabel tersebut diolah melalui grafik hasil uji tanah. Berikut adalah grafik analisa pembagian butir tanah.

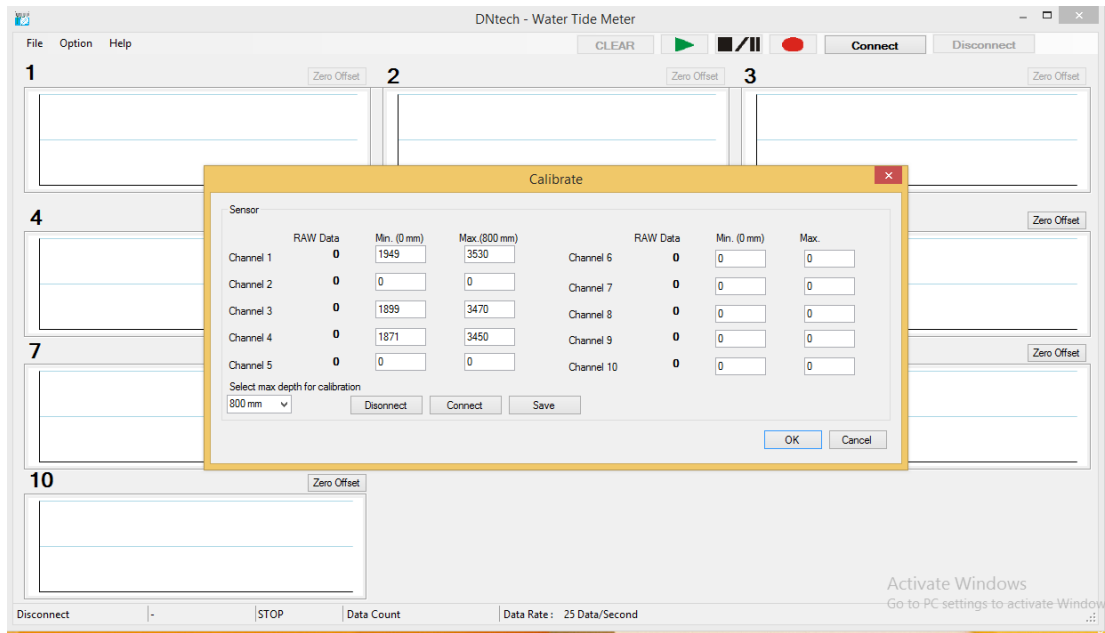


Gambar 4.1 Grafik hasil uji tanah

Nilai d_{50} merupakan ukuran butiran tanah yang lolos ayakan 50%. Dari grafik diatas, dapat diketahui nilai dari d_{50} dengan cara menarik garis horisontal pada angka 50 sebelah kiri hingga berpotongan dengan grafik tersebut. Kemudian tarik garis vertikal ke bawah hingga mendapatkan nilai dari diameter butiran (mm) yang merupakan nilai dari d_{50} . Dari hasil pengujian tersebut, nilai dari d_{50} adalah **0,56** mm yang termasuk dalam kategori *medium sand*.

4.2 Data Gelombang

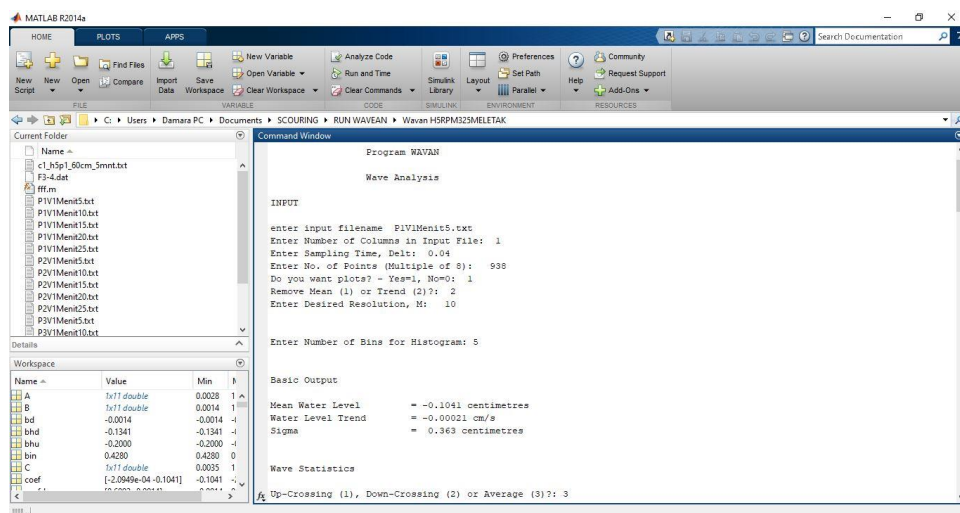
Sebelum pengujian dimulai, *wave probe* dikalibrasi terlebih dahulu. Kalibrasi dilakukan sekali sebelum pengujian dimulai. Pada kalibrasi ini terdapat dua titik ujia kalibrasi yaitu titik 0 dan titik maksimum wave probe. Nilai kalibrasi tersebut akan dimasukkan kedalam Wave Tide Meter pada komputer yang digunakan untuk merekam hasil pembacaan dari *wave probe*.



Gambar 4.2 Input kalibrasi pada Wave Tide Meter pada Channel 1,3 dan 4.

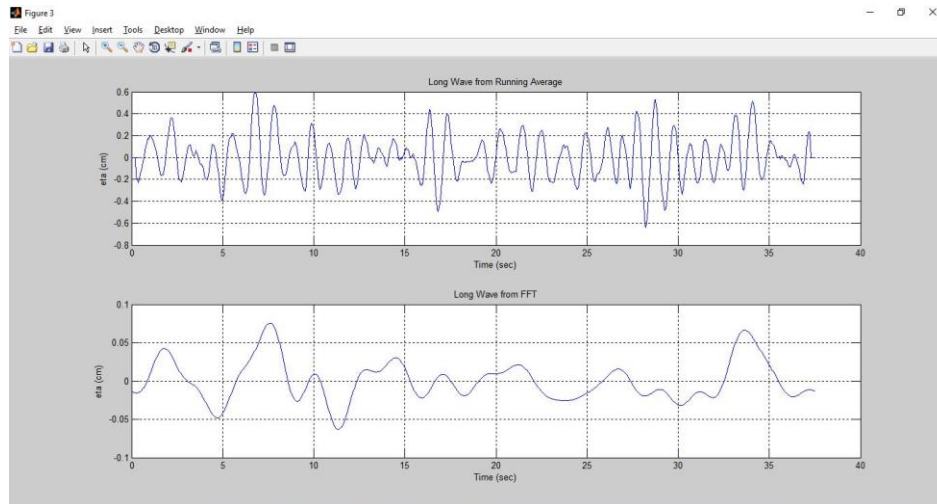
Pengaturan time history saat eksperimen juga diperlukan agar data yang dihasilkan valid. Pada software *Water Tide Meter* diatur *wave probe* akan melakukan 25 data tiap detik atau setiap 0.04 detik *waveprobe* akan mencatat perubahan elevasi muka air akibat gelombang.

Dari hasil pembacaan probe tersebut, kemudian data diolah menggunakan software *Wavan (Wave Analysis)* untuk menghasilkan spektrum gelombang JONSWAP gelombang ireguler yg digunakan dalam eksperimen.



Gambar 4.3 Format code Wavan pada software MatLab.

Sebelum dilakukan *running*, input data dilakukan terlebih dahulu. Input data pyang diperlukan adalah hasil data perubahan elevasi tiap *waveprobe* pada setiap time history 5 menit.



Gambar 4.4 Hasil *Running Wavan*.

Perlu diketahui bahwa untuk *running Wavan* ini diharuskan menginstall *software* Matlab dikarenakan Wavan dan Matlab saling terkoneksi satu sama lain. Hasil pengolahan data menggunakan Wavan diantaranya adalah tinggi gelombang signifikan (H_s), tinggi gelombang rata-rata (H_{avg}) dan periode rata-rata (T_{avg}). Berikut adalah tabel hasil olahan *software* Wavan pada eksperimen yang sudah dilakukan.

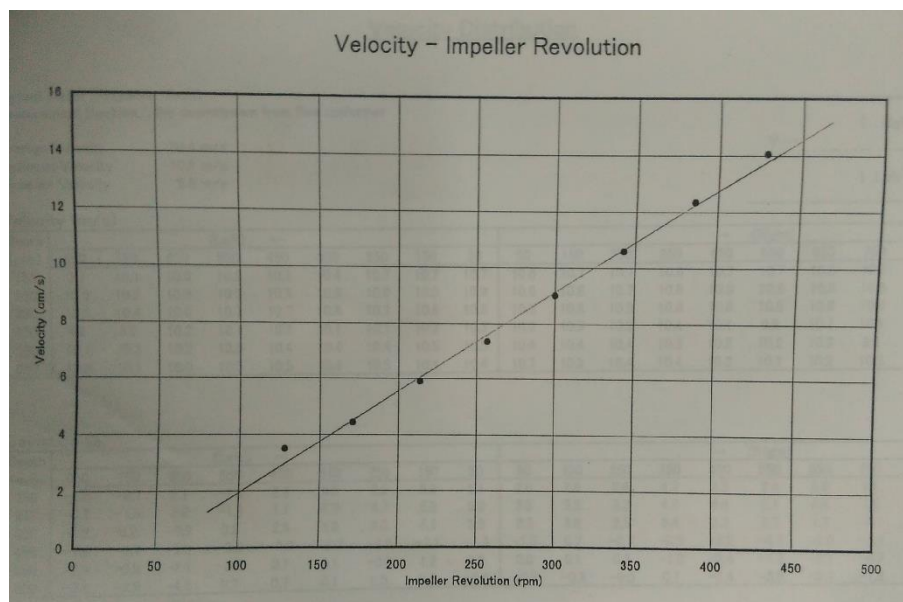
Percobaan ke-	Ch1 (Depan)				Ch2 (Diatas Slope)				Ch3 (Belakang)				Jenis Peletakan
	H_s (cm)	T_p (s)	H_{avg} (cm)	T_{avg} (s)	H_s (cm)	T_p (s)	H_{avg} (cm)	T_{avg} (s)	H_s (cm)	T_p (s)	H_{avg} (cm)	T_{avg} (s)	
1.00	11.98	1.10	6.60	0.47	13.65	1.00	9.00	0.98	9.94	1.06	6.51	0.98	Meletak
2.00	11.11	1.09	6.32	0.41	13.73	1.04	8.75	0.93	9.70	1.05	6.13	0.95	Meletak
3.00	14.84	1.06	8.06	0.55	15.05	1.09	9.85	1.01	10.96	1.06	7.13	0.98	Meletak
4.00	13.57	1.10	7.35	0.51	15.53	1.10	9.98	0.97	11.24	1.11	7.30	1.00	Meletak
5.00	11.76	1.06	6.46	0.44	13.15	0.93	8.38	0.90	10.11	1.04	6.41	0.90	Trench 2mm
6.00	14.98	1.02	7.88	0.36	16.81	1.10	8.12	0.91	10.01	1.04	6.19	0.91	Trench 2mm
7.00	13.77	1.06	7.60	0.53	13.82	1.08	9.04	0.99	10.93	1.08	7.10	0.96	Trench 2mm
8.00	14.87	1.07	7.69	0.48	15.62	1.09	8.99	0.93	10.23	1.05	6.51	0.90	Trench 2mm
9.00	12.63	1.06	6.94	0.45	13.08	0.96	8.46	0.92	9.91	1.06	6.51	0.95	Trench 4mm
10.00	10.79	1.06	6.16	0.39	12.59	0.95	7.99	0.93	10.19	1.05	6.33	0.92	Trench 4mm
11.00	11.99	1.06	6.79	0.45	14.43	0.98	9.70	0.97	11.55	1.15	7.54	0.97	Trench 4mm
12.00	11.40	1.03	6.42	0.42	15.07	0.95	9.58	0.92	11.95	1.03	7.66	0.92	Trench 4mm

Tabel 4.3 Hasil olahan Wavan.

Dari data diatas diketahui bahwa pada eksperimen menggunakan gelombang *irreguler*, tinggi gelombang antara tinggi gelombang input (H_{input}) dengan tinggi yang dihasilkan *wave generator* berbeda. Hal ini disebabkan oleh karakteristik gelombang *irreguler* yang polanya berubah tiap waktu. Dari data diatas Ch1 adalah channel 1 *wave probe* yang dipasang didepan *wave generator*, Ch2 dipasang di depan pipa dan Ch3 (Channel 3) dipasang dibelakang pipa. Tujuan dari penggunaan tiga *waveprobe* disini adalah untuk mengetahui perubahan elevasi muka air di titik yang berbeda.

4.3 Data Arus

Eksperimen ini menggunakan arus sebagai salah satu variabel dalam variasi yang digunakan. Pada lab *flume* yang digunakan, *current generator* menggunakan pompa berupa impeller sehingga input arus adalah berupa RPM. Maka dari itu dilakukan konversi RPM ke satuan kecepatan arus yaitu cm/s. Konversi tersebut menggunakan grafik *Impeller Revolutioin* yang sudah ada didalam operation manual lab *flume*.



Gambar 4.5 *Impeller Revolution* pembangkit arus.

Setelah dilakukan konversi dari RPM ke cm/s maka didapatkan besarnya RPM input yang akan digunakan dalam proses eksperimen. Data arus yang digunakan adalah:

Percobaan ke-	Kec. Arus (RPM)	Jenis Peletakan	H (cm)	V arus (cm/s)
1	435	Meletak	5	14
2	325	Meletak	5	10
3	435	Meletak	6	14
4	325	Meletak	6	10
5	435	(e/D=-0.105)	5	14
6	325	(e/D=-0.105)	5	10
7	435	(e/D=-0.105)	6	14
8	325	(e/D=-0.105)	6	10
9	435	(e/D=-0.052)	5	14
10	325	(e/D=-0.052)	5	10
11	435	(e/D=-0.052)	6	14
12	325	(e/D=-0.052)	6	10

Tabel 4.4 Variasi Arus eksperimen.

4.4 Hasil Pengukuran Kedalaman dan Lebar *Scouring*

Semua total 12 variasi dalam eksperimen ini, dalam setiap variasi dilakukan selama 25 menit (5 menit x 5), dimana setiap lima menit *wave generator*, *wave current* dan *wave probe* akan berhenti selama 2-3 menit untuk dilakukan pencatatan. Dalam proses pencatatan dibantu dengan kamera. Hasilnya berupa foto dan video yang kemudian dioah menggunakan AutoCAD dan Mircrosoft excel.

Perubahan muka lapisan tanah juga difoto menggunakan kamera setiap lima menit. Dari foto tersebut kemudian diplot dan diskala 1:1 menggunakan *software* AutoCAD untuk mengetahui profil 2D berdasarkan pengaman dari kaca *flume tank* (Sisi Samping). Setelah hasil foto tiap lima menit di plot, maka dilakukan proses *overlay* sehingga terbentuk sketsa propagasi *scouring* mulai dari awal ($t = 0$ menit) sampai kondisi akhir ($t = 25$ menit). Dalam proses plot menggunakan AutoCad, ditentukan terlebih dahulu jarak titik lebar/kedalaman *scouring* dari pipa kemudian dihitung dimensinya, Hasil dari plot tersebut dimaskukkan kedalam Microsoft Excel hingga terbentuk grafik perubahan propagasi *scouring* yang terjadi.

4.4.1 Hasil Eksperimen Scouring untuk Pipa Kondisi Meletak

Pengujian pertama yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi meletak ini adalah dengan $H_i = 5$ cm dan $T_i = 1$ detik dengan RPM pembangkit arus 325 atau $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s. Dari pengujian tersebut menghasilkan $H_{\text{avg}} = 5,8533$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.972$ s. Berikut adalah kondisi awal ($t = 0$ menit) pipa sebelum pengujian dilakukan.



Gambar 4.6 Kondisi awal ($t = 0$ menit) eksperimen *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,8533$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.972$ s

Setelah eksperimen dengan $t = 5$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 0.58 cm dengan lebar scouring juga mencapai 4.4281 cm. Berikut profil *scouring* pada $t = 5$ menit.



Gambar 4.7 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,8533$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.972$ s
Setelah eksperimen dengan $t = 10$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk mengalami perubahan menjadi 0,6781 cm dengan lebar *scouring* juga mengalami perubahan menjadi 4.7114 cm.

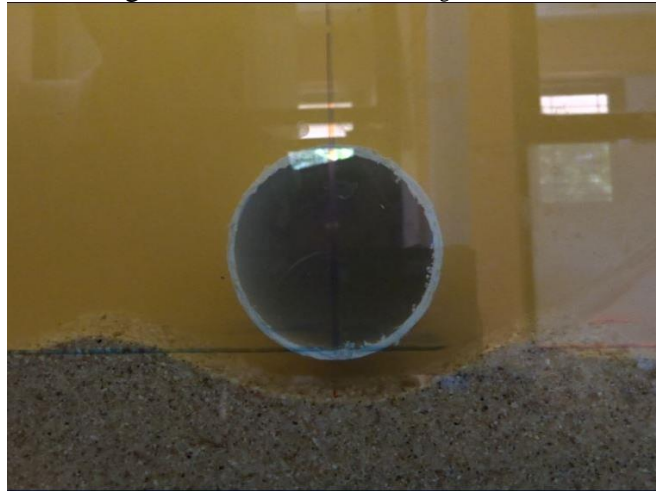


Gambar 4.8 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 10$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,8533$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.972$ s

Setelah eksperimen dengan $t = 15$ menit kondisi kedalaman *scouring* yang terbentuk mengalami perubahan menjadi 0.7152 cm dengan lebar *scouring* juga mengalami perubahan mencapai 4.793 cm.



Gambar 4.9 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 15$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,8533$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.972$ s



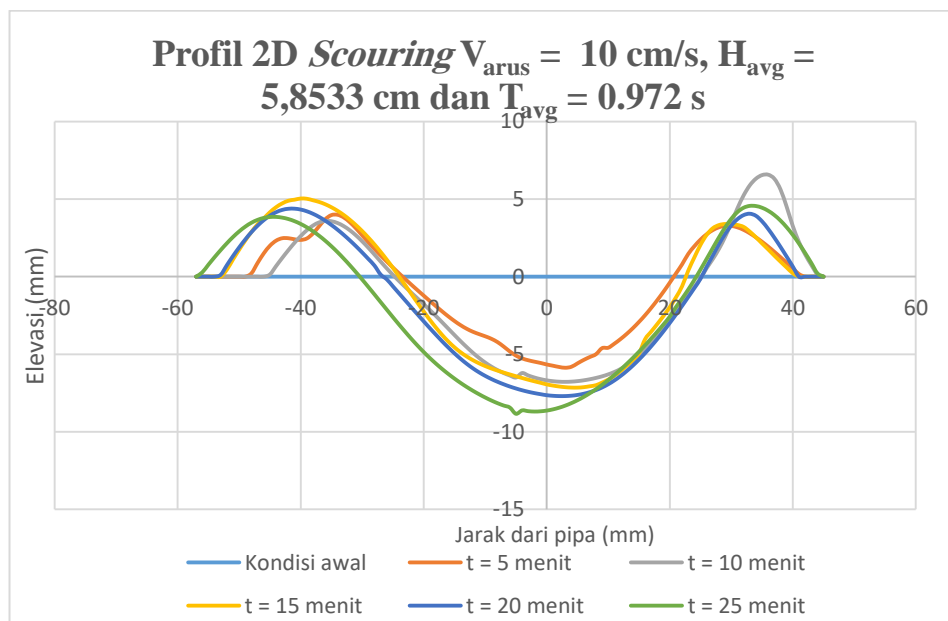
Gambar 4.10 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 20$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,8533$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.972$ s

Setelah eksperimen dengan $t = 20$ menit kondisi kedalaman scouring yang terbentuk adalah 0.7699 cm dengan lebar scouring juga mencapai 5.18 cm..



Gambar 4.11 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,8533$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.972$ s

Setelah eksperimen dengan $t = 25$ menit kondisi kedalaman *scouring* yang terbentuk adalah 0,8842 cm dengan lebar *scouring* juga mencapai 5,5088 cm. Setelah semua data *profil scouring* mulai dari $t = 0$ menit sampai $t = 25$ menit di plot menggunakan AutoCad dan dimasukkan ke Microsoft Excel, berikut perubahan elevasi *scouring* hasil eksperimen.



Gambar 4.12 Perubahan profil 2D *scouring* kondisi pipa meletak ($e/D = 0$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,8533$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.972$ s
Pada grafik, pipa diletakan pada koordinat 0,0. Dimana untuk jarak negatif merupakan daerah dibelakang pipa sedangkan jarak positif adalah daerah didepan

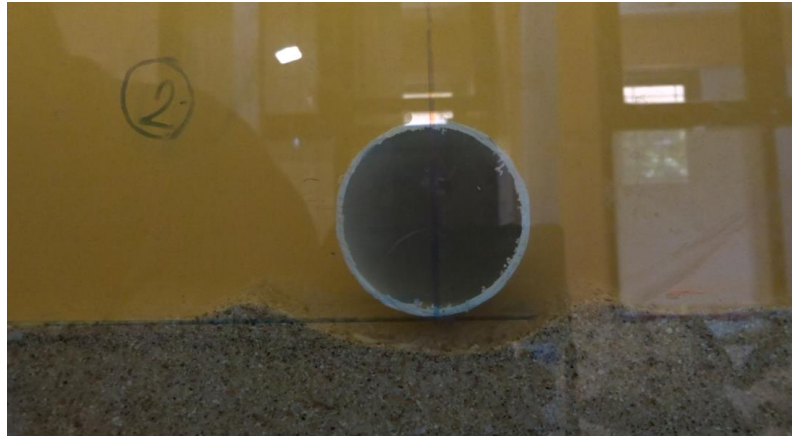
pipa. Elevasi negatif merupakan kedalaman *scouring* yang terbentuk dan elevasi positif merupakan pasir yang terkumpul di atas koordinat pipa. Proses *scouring* terbentuk sejak awal gelombang dan arus dibangkitkan sampai eksperimen selesai ($t = 25$ menit).

Pengujian kedua yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi meletak ini adalah dengan $H_i = 5$ cm dan $T_i = 1$ detik dengan RPM Pembangkit arus 435 atau $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s. Dari input pengujian tersebut dihasilkan $H_{\text{avg}} = 5,763$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,6637$ s. Berikut adalah kondisi awal ($t = 0$ menit) pipa sebelum pengujian dilakukan.



Gambar.4.13 Profil 2D *scouring* kondisi awal ($t = 0$ menit) pipa meletak ($e/D = 0$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,763$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.6637$ s

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 5$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 0,768 cm dengan lebar *scouring* mencapai 5.24607 cm.



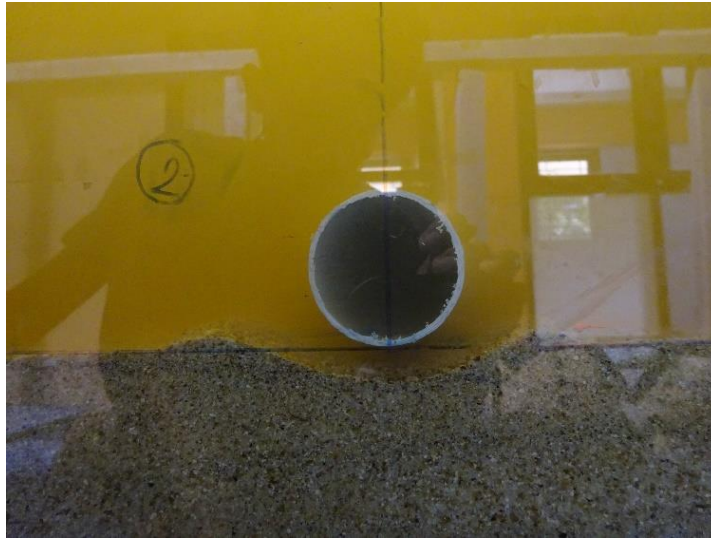
Gambar 4.14 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,763$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.6637$ s

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 10$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 0.804 cm dengan lebar *scouring* mencapai 5,48368 cm.



Gambar 4.15 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 10$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,763$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.6637$ s

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 15$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 0.8385 cm dengan lebar *scouring* mencapai 5.874 cm.



Gambar 4.16 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,763$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.6637$ s

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 20$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 0.899 cm dengan lebar *scouring* mencapai 5.87138 cm.

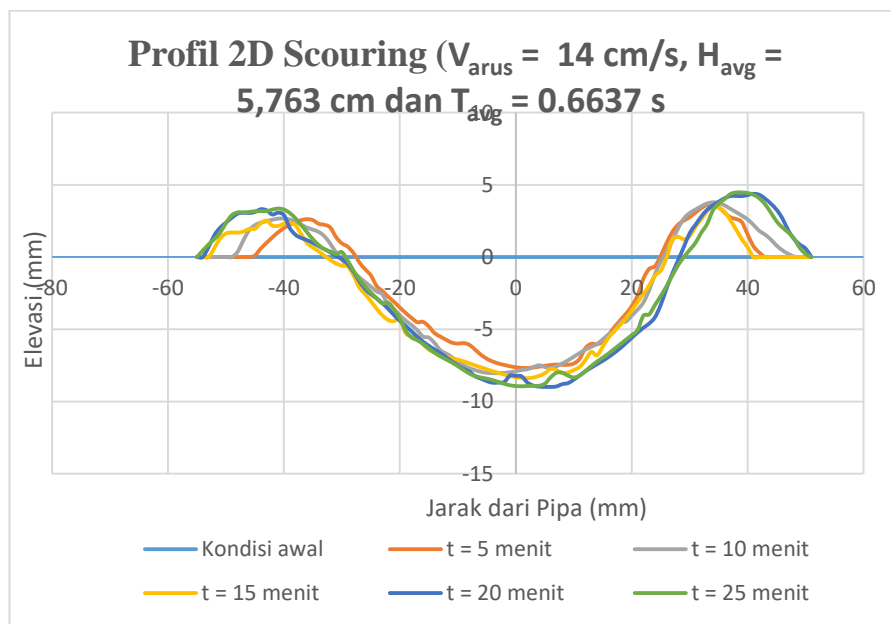


Gambar 4.17 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 20$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,763$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.6637$ s



Gambar 4.18 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi $t = 20$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,763$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.6637$ s

Setelah eksperimen dengan $t = 25$ menit kondisi kedalaman *scouring* yang terbentuk adalah 0,8945 cm dengan lebar *scouring* juga mencapai 5,836 cm. Setelah semua data *profil scouring* mulai dari $t = 0$ menit sampai $t = 25$ menit di plot menggunakan AutoCad dan dimasukkan ke Microsoft Excel, berikut perubahan elevasi *scouring* hasil eksperimen.

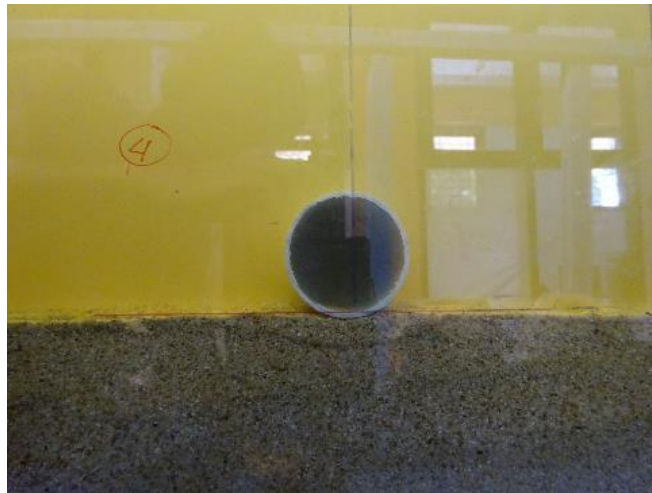


Gambar 4.19 Perubahan profil 2D *scouring* kondisi pipa meletak ($e/D = 0$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 5,763$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.6637$ s

Pada grafik, pipa diletakan pada koordinat 0,0. Dimana untuk jarak negatif merupakan daerah dibelakang pipa sedangkan jarak positif adalah daerah didepan pipa. Elevasi negatif merupakan kedalaman *scouring* yang terbentuk dan elevasi

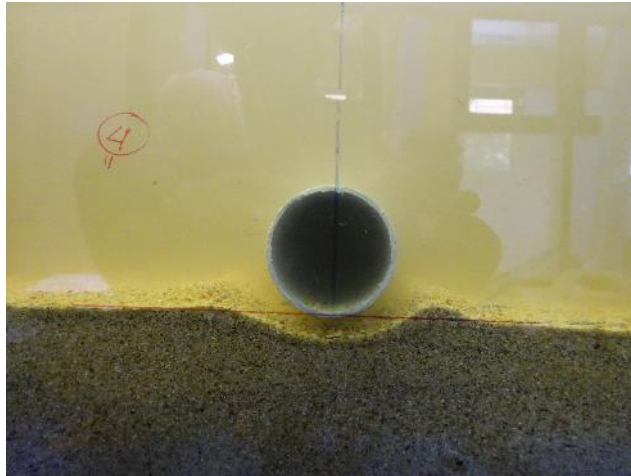
positif merupakan pasir yang terkumpul di atas koordinat pipa. Proses *scouring* terbentuk sejak awal gelombang dan arus dibangkitkan sampai eksperimen selesai ($t = 25$ menit).

Pengujian ketiga yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi meletak ini adalah dengan $H_i = 6$ cm dan $T_i = 1$ detik dengan RPM Pembangkit arus 325 atau $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s. Dari input pengujian tersebut didapatkan nilai $H_{\text{avg}} = 6,667$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.70033$ s. Berikut adalah kondisi awal ($t = 0$ menit) pipa sebelum pengujian dilakukan.

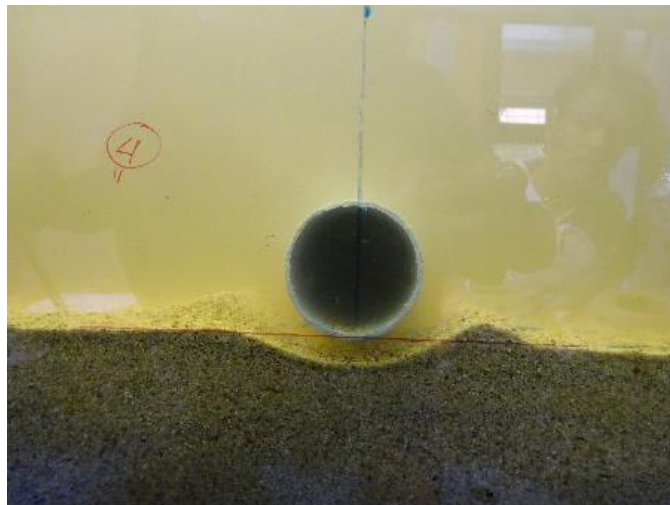


Gambar.4.20 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi awal ($t = 0$ menit) dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,7867$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.70933$ s

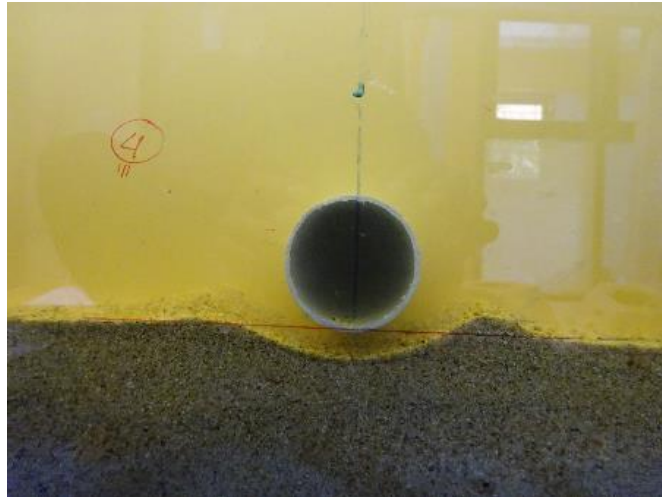
Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 5$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 0,671 cm dengan lebar *scouring* mencapai 4.588 cm.



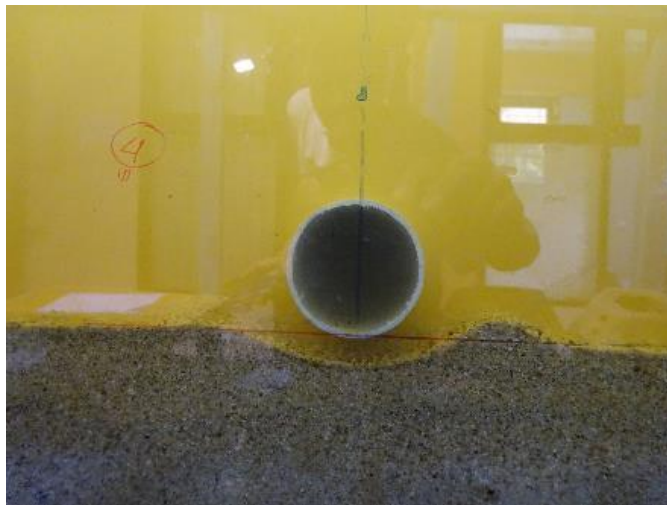
Gambar 4.21 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada ($t = 5$ menit) dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,7867$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.70933$ s
Setelah eksperimen dengan $t = 10$ menit kondisi kedalaman scouring yang terbentuk mengalami perubahan menjadi 0.7462 cm dengan lebar scouring juga mengalami perubahan mencapai 5.40 cm.



Gambar 4.22 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 10$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,7867$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.70933$ s
Setelah eksperimen dengan $t = 15$ menit kondisi kedalaman scouring yang terbentuk mengalami perubahan menjadi 0.7506 cm dengan lebar scouring juga mengalami perubahan mencapai 5.281 cm.



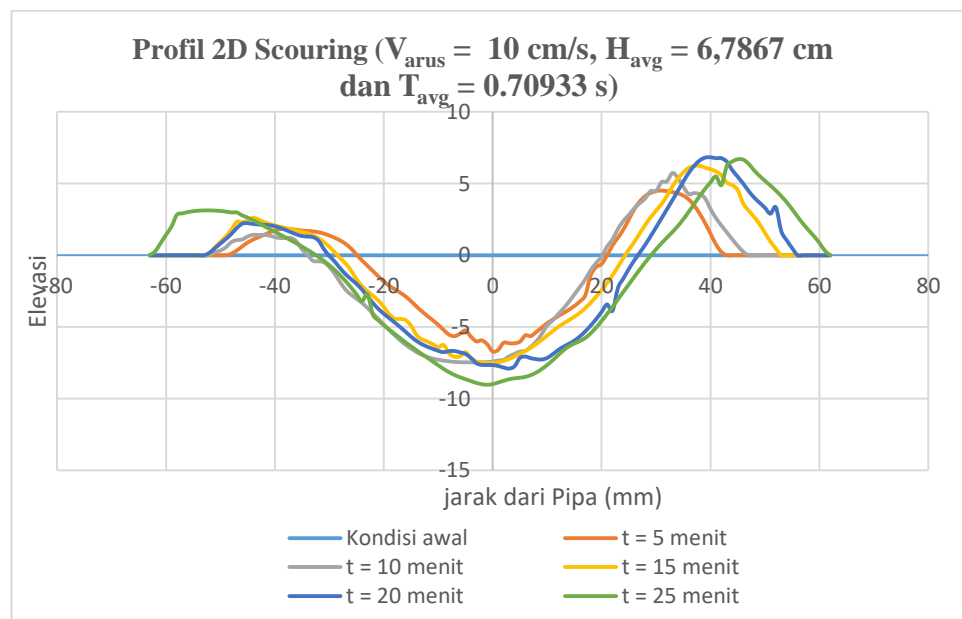
Gambar 4.23 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,7867$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.70933$ s
Setelah eksperimen dengan $t = 20$ menit kondisi kedalaman scouring yang terbentuk mengalami perubahan menjadi 0.79 cm dengan lebar scouring juga mengalami perubahan mencapai 5.67 cm.



Gambar 4.24 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 20$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,7867$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.70933$ s
Setelah eksperimen dengan $t = 25$ menit kondisi kedalaman scouring yang terbentuk mengalami perubahan menjadi 0.9026 cm dengan lebar scouring juga mengalami perubahan mencapai 6.1494 cm.



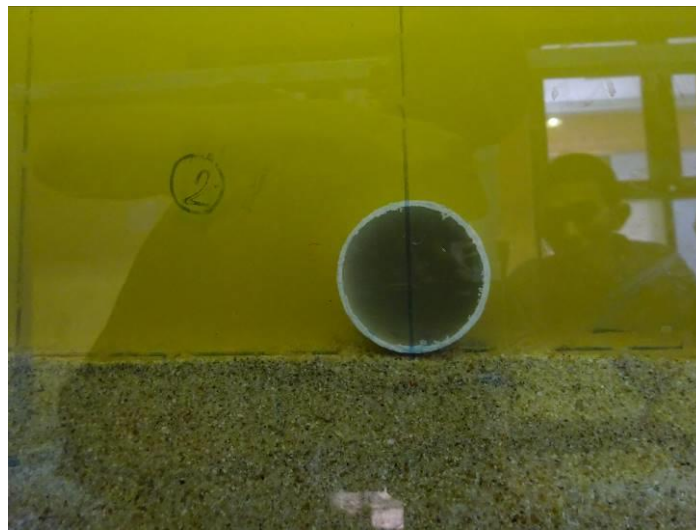
Gambar 4.25 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,7867$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.70933$ s
Setelah semua data *profil scouring* mulai dari $t = 0$ menit sampai $t = 25$ menit di plot menggunakan AutoCad dan dimasukkan ke Microsoft Excel, berikut perubahan elevasi *scouring* hasil eksperimen.



Gambar 4.26 Perubahan profil 2D *scouring* kondisi pipa meletak ($e/D = 0$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,7867$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.70933$ s
Pada grafik, pipa diletakan pada koordinat 0,0. Dimana untuk jarak negatif merupakan daerah dibelakang pipa sedangkan jarak positif adalah daerah didepan pipa. Elevasi negatif merupakan kedalaman *scouring* yang terbentuk dan elevasi positif merupakan pasir yang terkumpul di atas koordinat pipa. Proses *scouring*

terbentuk sejak awal gelombang dan arus dibangkitkan sampai eksperimen selesai ($t = 25$ menit).

Pengujian keempat yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi meletak ini adalah dengan $H_i = 6$ cm dan $T_i = 1$ detik dengan RPM Pembangkit arus 435 atau $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s. Dari iput pengujian tersebut didapatkan nilai $H_{\text{avg}} = 6,79$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.71$ s. Berikut adalah kondisi awal ($t = 0$ menit) pipa sebelum pengujian dilakukan.

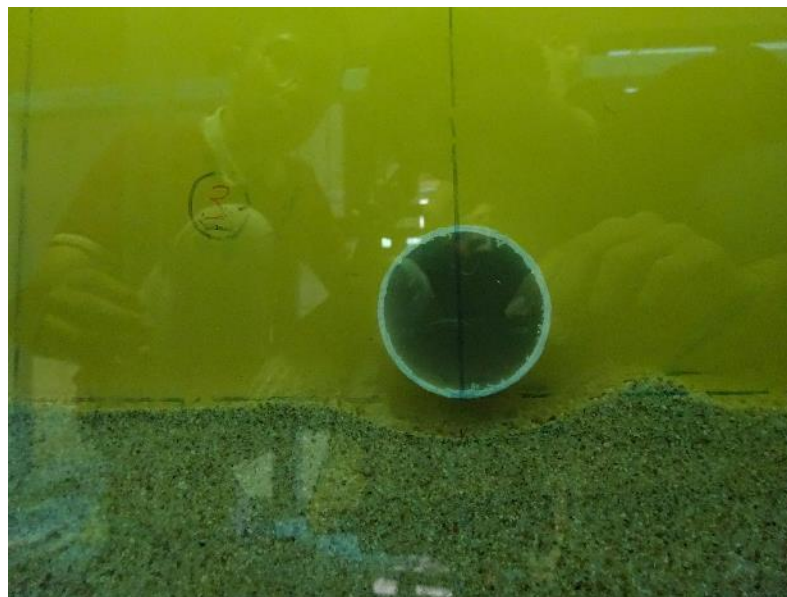


Gambar.4.27 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada kondisi awal ($t = 0$ menit) dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,667$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.701$ s

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 5$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 0,823 cm dengan lebar *scouring* mencapai 5.448 cm.



Gambar 4.28 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,667$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.70033$ s
Setelah eksperimen dengan $t = 10$ menit kondisi kedalaman scouring yang terbentuk mengalami perubahan menjadi 0.945 cm dengan lebar scouring juga mengalami perubahan mencapai 6.289 cm.



Gambar 4.29 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 10$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,667$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.70033$ s
Setelah eksperimen dengan $t = 15$ menit kondisi kedalaman scouring yang terbentuk mengalami perubahan menjadi 1.0169 cm dengan lebar scouring juga mengalami perubahan mencapai 6.549 cm.



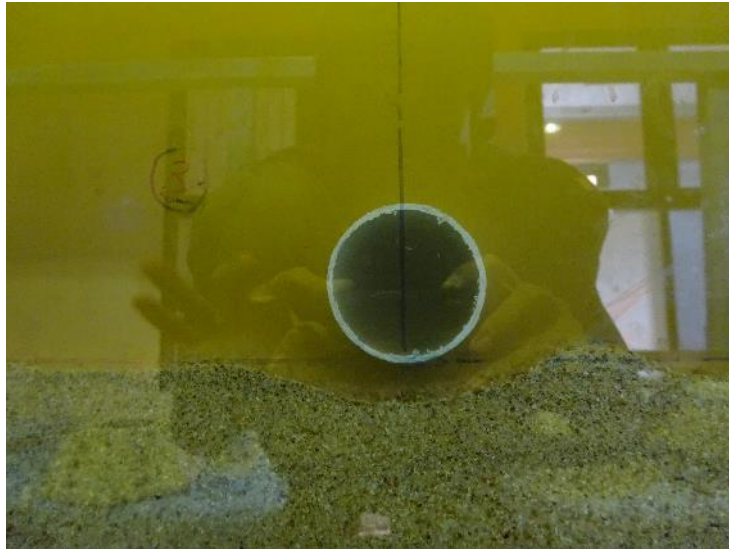
Gambar 4.30 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,667$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.70033$ s

Setelah eksperimen dengan $t = 20$ menit kondisi kedalaman scouring yang terbentuk mengalami perubahan menjadi 1.0515 cm dengan lebar scouring juga mengalami perubahan mencapai 6.674 cm.

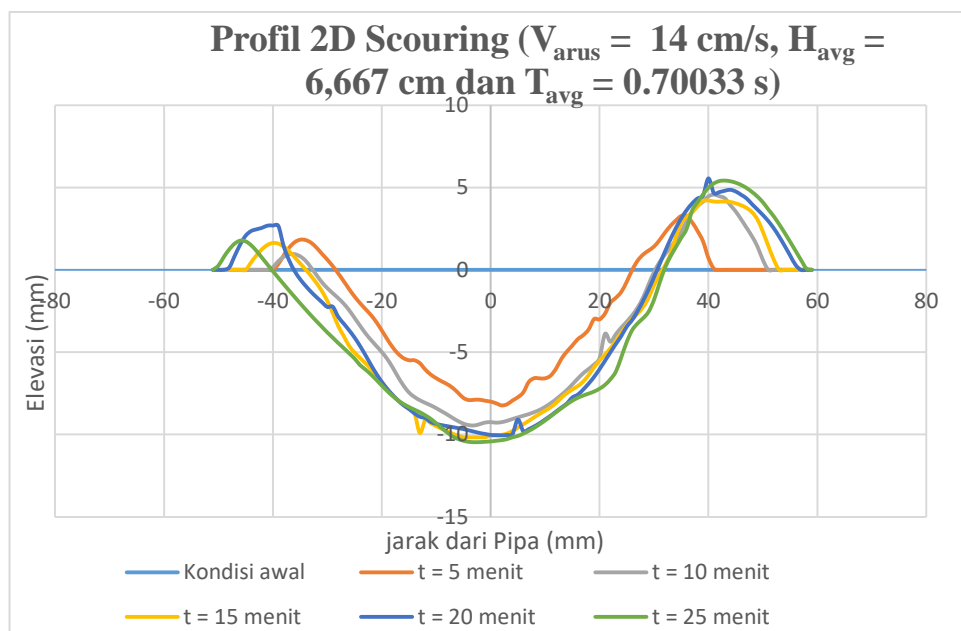


Gambar 4.31 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 20$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,667$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.70033$ s

Setelah eksperimen dengan $t = 25$ menit kondisi kedalaman scouring yang terbentuk mengalami perubahan menjadi 1.464 cm dengan lebar scouring juga mengalami perubahan mencapai 7.208 cm.



Gambar 4.32 Profil *scouring* pada pipa dengan kondisi meletak ($e/D = 0$ mm) pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,667$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.70033$ s. Setelah eksperimen dengan $t = 25$ menit kondisi kedalaman *scouring* yang terbentuk adalah 0,87 cm dengan lebar *scouring* juga mencapai 5,41 cm. Setelah semua data *profil scouring* mulai dari $t = 0$ menit sampai $t = 25$ menit di plot menggunakan AutoCad dan dimasukkan ke Microsoft Excel, berikut perubahan elevasi *scouring* hasil eksperimen.

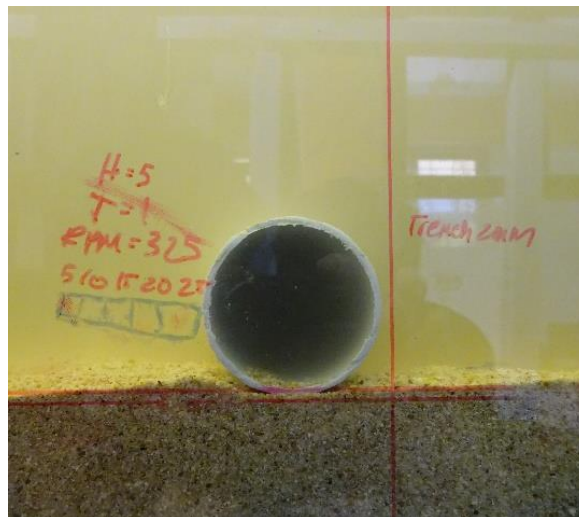


Gambar 4.33 Perubahan profil 2D *scouring* kondisi pipa meletak ($e/D = 0$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 6,667$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0.70033$ s

Pada grafik, pipa diletakan pada koordinat 0,0. Dimana untuk jarak negatif merupakan daerah dibelakang pipa sedangkan jarak positif adalah daerah didepan pipa. Elevasi negatif merupakan kedalaman *scouring* yang terbentuk dan elevasi positif merupakan pasir yang terkumpul di atas koordinat pipa. Proses *scouring* terbentuk sejak awal gelombang dan arus dibangkitkan sampai eksperimen selesai ($t = 25$ menit).

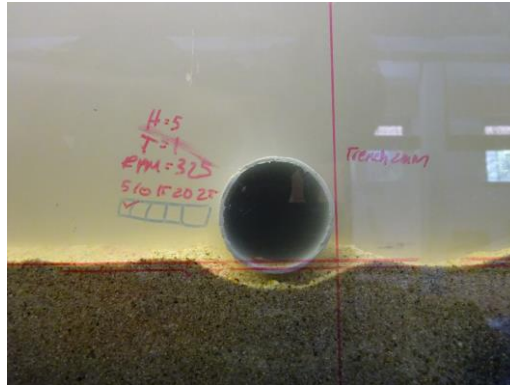
4.4.2 Hasil Eksperimen untuk Pipa Kondisi *In-Trench* 2 mm $e/D = -0.05$

Pengujian pertama yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi *In-Trench* 2 mm atau $e/D = -0.05$ ini adalah dengan $H_i = 5$ cm dan $T_i = 1$ detik dengan RPM pembangkit arus 325 atau $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s. Dari *input* data pengujian tersebut kemudian diolah kedalam Wavan dan menghasilkan $H_{\text{avg}} = 8,3787$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,9009$ s. Berikut adalah kondisi awal ($t = 0$ menit) pipa sebelum pengujian dilakukan.



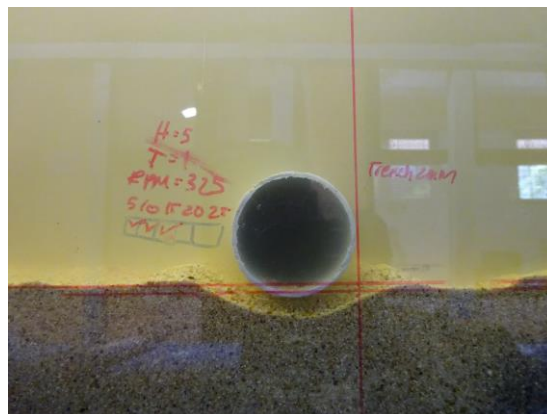
Gambar 4.35 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 2 mm pada kondisi awal ($t = 0$ menit) dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 8,3787$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,9009$ s.

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 5$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 0,7541 cm dengan lebar *scouring* mencapai 4.589 cm.



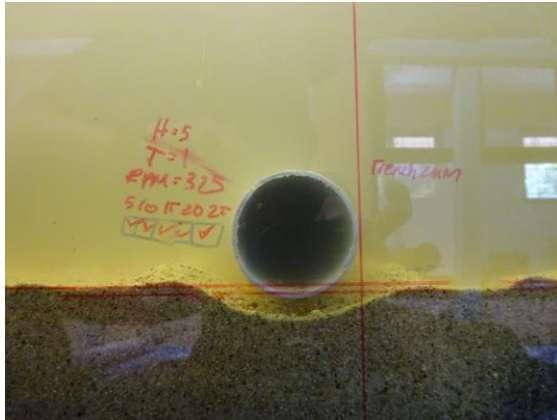
Gambar 4.36 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 2 mm pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,3787 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,9009 \text{ s}$.

Setelah eksperimen dengan $t = 15$ menit kondisi kedalaman scouring yang terbentuk mengalami perubahan menjadi 0,95 cm dengan lebar scouring juga mengalami perubahan mencapai 5.4374 cm.



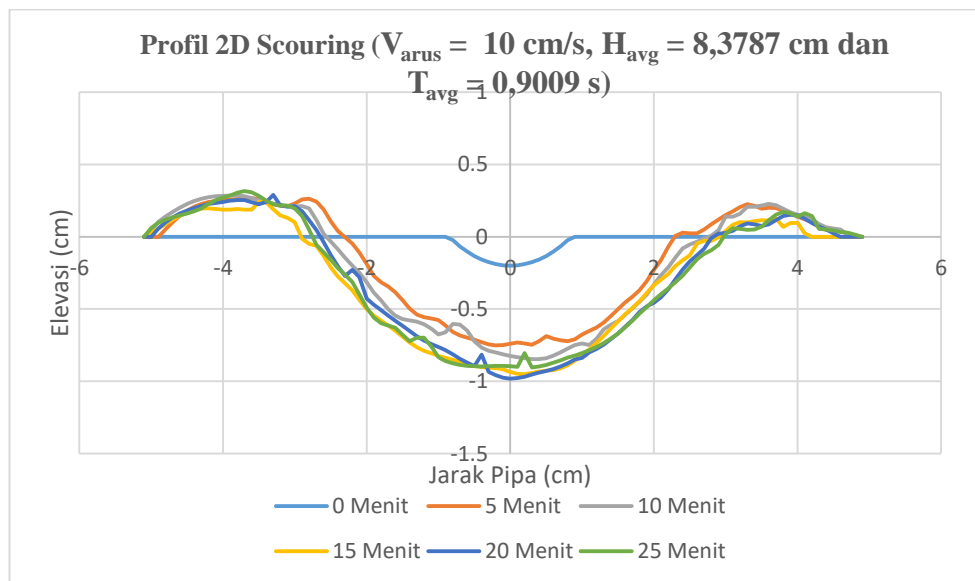
Gambar 4.37 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 2 mm pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,3787 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,9009 \text{ s}$.

Setelah eksperimen dengan $t = 25$ menit kondisi kedalaman scouring yang terbentuk adalah 0,90487 cm dengan lebar scouring juga mencapai 5.738 cm.



Gambar 4.38 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 2 mm pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,38 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,91 \text{ s}$.

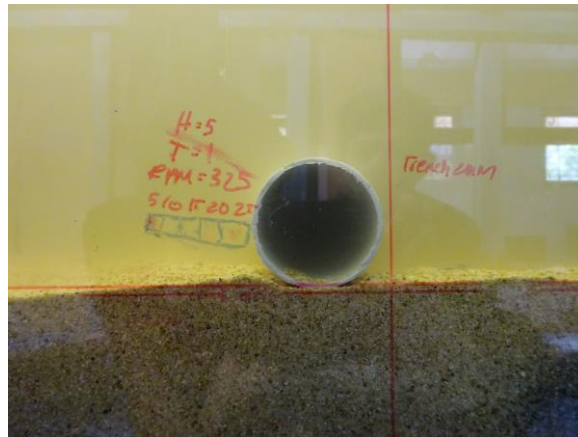
Setelah semua data *profil scouring* mulai dari $t = 0$ menit sampai $t = 25$ menit di plot menggunakan AutoCad dan dimasukkan ke Microsoft Excel, berikut perubahan elevasi *scouring* hasil eksperimen.



Gambar 4.39 Perubahan profil 2D *scouring* kondisi pipa meletak ($e/D = -0.05 \text{ mm}$) dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,38 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,91 \text{ s}$.

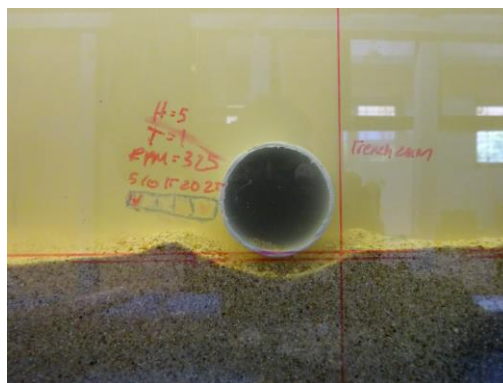
Pada grafik, pipa diletakan pada koordinat 0,0. Dimana untuk jarak negatif merupakan daerah dibelakang pipa sedangkan jarak positif adalah daerah didepan pipa. Elevasi negatif merupakan kedalaman *scouring* yang terbentuk dan elevasi positif merupakan pasir yang terkumpul di atas koordinat pipa. Proses *scouring* terbentuk sejak awal gelombang dan arus dibangkitkan sampai eksperimen selesai ($t = 25$ menit).

Pengujian kedua yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi *In-Trench* 2 mm atau $e/D = -0.05$ ini adalah dengan $H_i = 5$ cm dan $T_i = 1$ detik dengan RPM pembangkit arus 435 atau $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s. Dari *input* data pengujian tersebut kemudian diolah kedalam Wavan dan menghasilkan $H_{\text{avg}} = 8,12$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,92$ s. Berikut adalah kondisi awal ($t = 0$ menit) pipa sebelum pengujian dilakukan.



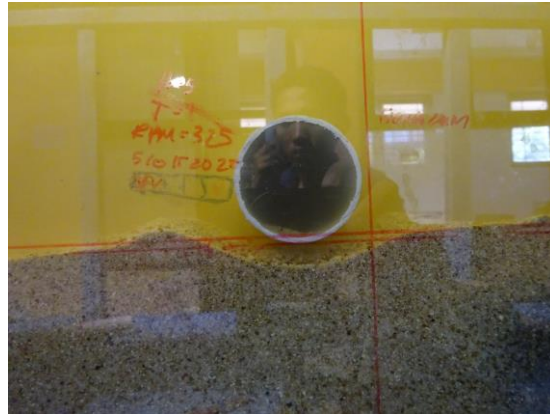
Gambar 4.40 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 2 mm pada kondisi awal ($t = 0$ menit) dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 8,12$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,92$.

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 5$ menit kondisi kedalam *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 0,94 cm dengan lebar *scouring* mencapai 5.25 cm.



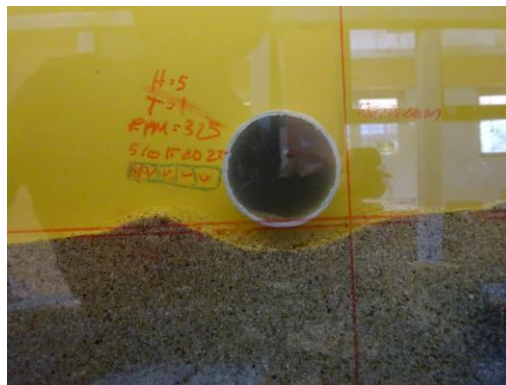
Gambar 4.41 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 2 mm pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 8,12$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,92$.

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 15$ menit kondisi kedalam *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 0,97 cm dengan lebar *scouring* mencapai 6.31 cm.



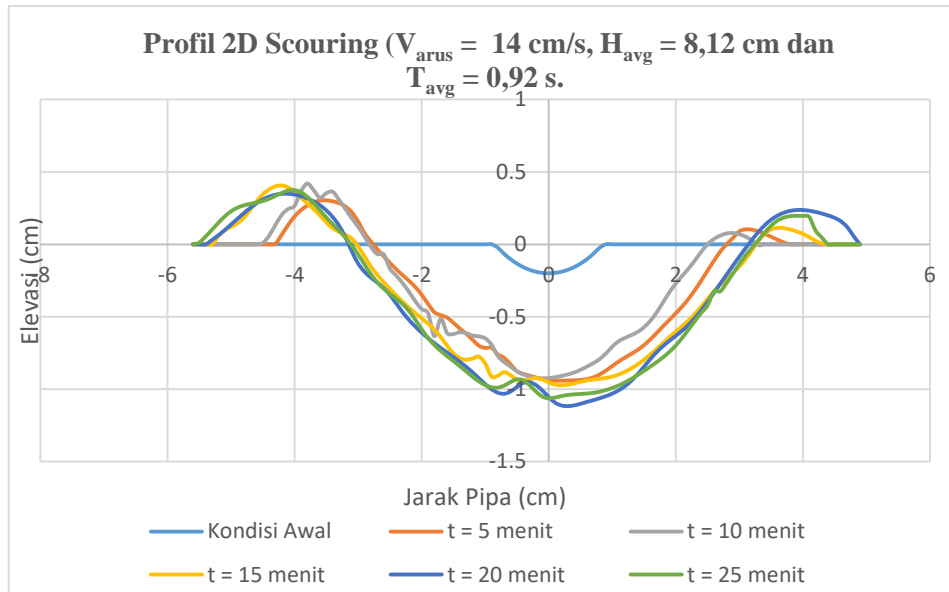
Gambar 4.42 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 2 mm pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,12 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,92$.

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 25$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 1,06 cm dengan lebar *scouring* mencapai 6.35 cm.



Gambar 4.43 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 2 mm pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,12 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,92 \text{ s}$.

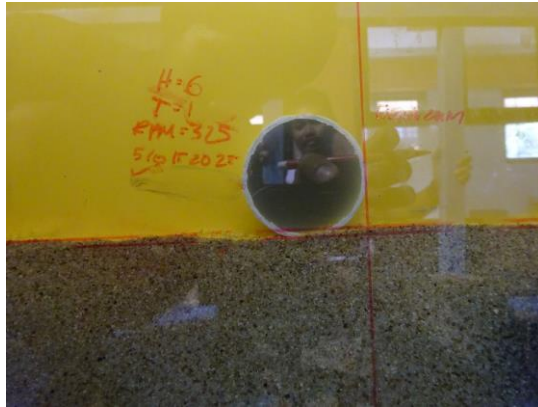
Setelah semua data *profil scouring* mulai dari $t = 0$ menit sampai $t = 25$ menit di plot menggunakan AutoCad dan dimasukkan ke Microsoft Excel, berikut perubahan elevasi *scouring* hasil eksperimen.



Gambar 4.44 Perubahan profil 2D *scouring* kondisi pipa meletak ($e/D = -0.05$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 8,12$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,92$ s.

Pada grafik, pipa diletakan pada koordinat 0,0. Dimana untuk jarak negatif merupakan daerah dibelakang pipa sedangkan jarak positif adalah daerah didepan pipa. Elevasi negatif merupakan kedalaman *scouring* yang terbentuk dan elevasi positif merupakan pasir yang terkumpul di atas koordinat pipa. Proses *scouring* terbentuk sejak awal gelombang dan arus dibangkitkan sampai eksperimen selesai ($t = 25$ menit).

Pengujian ketiga yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi *In-Trench 2 mm* atau $e/D = -0.05$ ini adalah dengan $H_i = 6$ cm dan $T_i = 1$ detik dengan RPM pembangkit arus 325 atau $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s. Dari *input* data pengujian tersebut kemudian diolah kedalam Wavan dan menghasilkan $H_{\text{avg}} = 9,04$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,99$ s. Berikut adalah kondisi awal ($t = 0$ menit) pipa sebelum pengujian dilakukan.



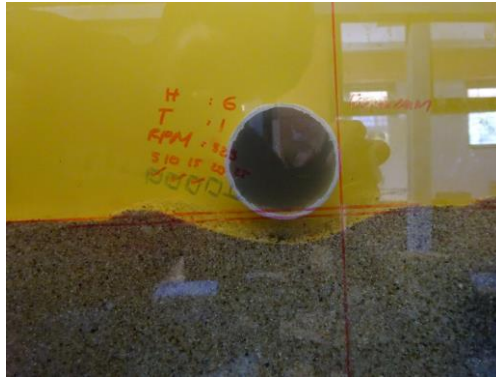
Gambar 4.45 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 2 mm pada kondisi awal ($t = 0$ s) menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 9,04$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,99$ s.

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 5$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 0,91 cm dengan lebar *scouring* mencapai 6.12 cm.



Gambar 4.46 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 2 mm pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 9,04$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,99$ s.

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 15$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 1,04 cm dengan lebar *scouring* mencapai 7.63 cm.



Gambar 4.47 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 2 mm pada $t = 15$ menit dengan

$$V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}, H_{\text{avg}} = 9,04 \text{ cm dan } T_{\text{avg}} = 0,99 \text{ s.}$$

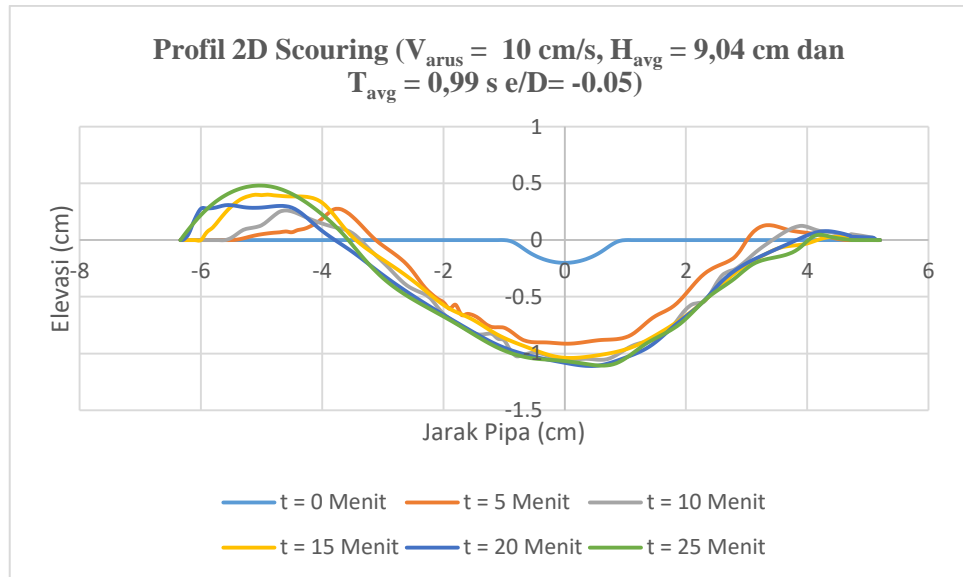
Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 25$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 1,11 cm dengan lebar *scouring* mencapai 7.59 cm.



Gambar 4.48 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 2 mm pada $t = 25$ menit dengan

$$V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}, H_{\text{avg}} = 9,04 \text{ cm dan } T_{\text{avg}} = 0,99 \text{ s.}$$

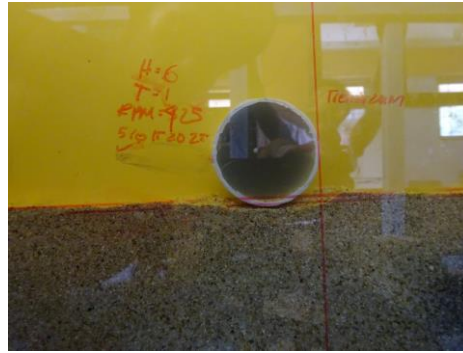
Setelah semua data *profil scouring* mulai dari $t = 0$ menit sampai $t = 25$ menit di plot menggunakan AutoCad dan dimasukkan ke Microsoft Excel, berikut perubahan elevasi *scouring* hasil eksperimen.



Gambar 4.49 Perubahan profil 2D *scouring* kondisi pipa meletak ($e/D = 0 \text{ mm}$) dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 9,0385 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,9868 \text{ s}$.

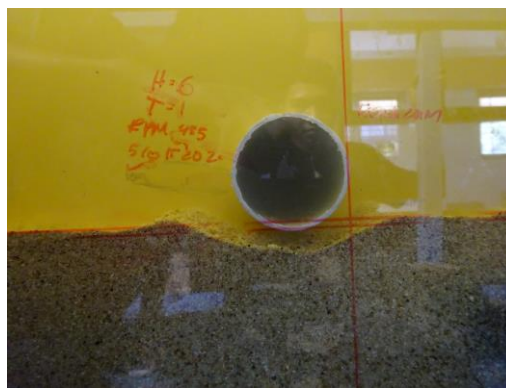
Pada grafik, pipa diletakan pada koordinat 0,0. Dimana untuk jarak negatif merupakan daerah dibelakang pipa sedangkan jarak positif adalah daerah didepan pipa. Elevasi negatif merupakan kedalaman *scouring* yang terbentuk dan elevasi positif merupakan pasir yang terkumpul di atas koordinat pipa. Proses *scouring* terbentuk sejak awal gelombang dan arus dibangkitkan sampai eksperimen selesai ($t = 25 \text{ menit}$).

Pengujian keempat yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi *In-Trench* 2 mm atau $e/D = -0.05$ ini adalah dengan $H_i = 6 \text{ cm}$ dan $T_i = 1 \text{ detik}$ dengan RPM pembangkit arus 435 atau $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$. Dari *input* data pengujian tersebut kemudian diolah kedalam Wavan dan menghasilkan $H_{\text{avg}} = 8,99 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$. Berikut adalah kondisi awal ($t = 0 \text{ menit}$) pipa sebelum pengujian dilakukan.



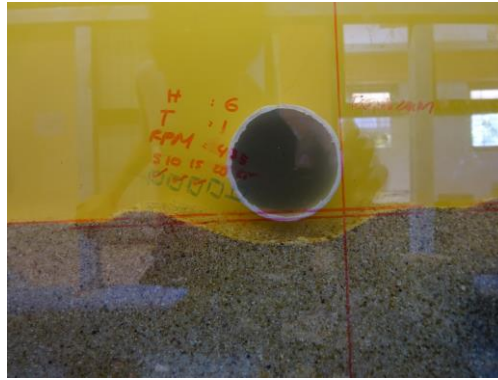
Gambar 4.50 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 2 mm pada kondisi awal ($t = 0$ s) menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 8,99$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,93$ s.

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 5$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 1,01 cm dengan lebar *scouring* mencapai 6.36 cm.



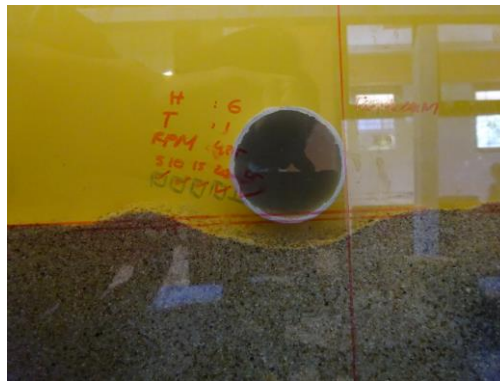
Gambar 4.51 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 2 mm pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 8,99$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,93$ s.

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 15$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 1,03 cm dengan lebar *scouring* mencapai 7.03 cm.



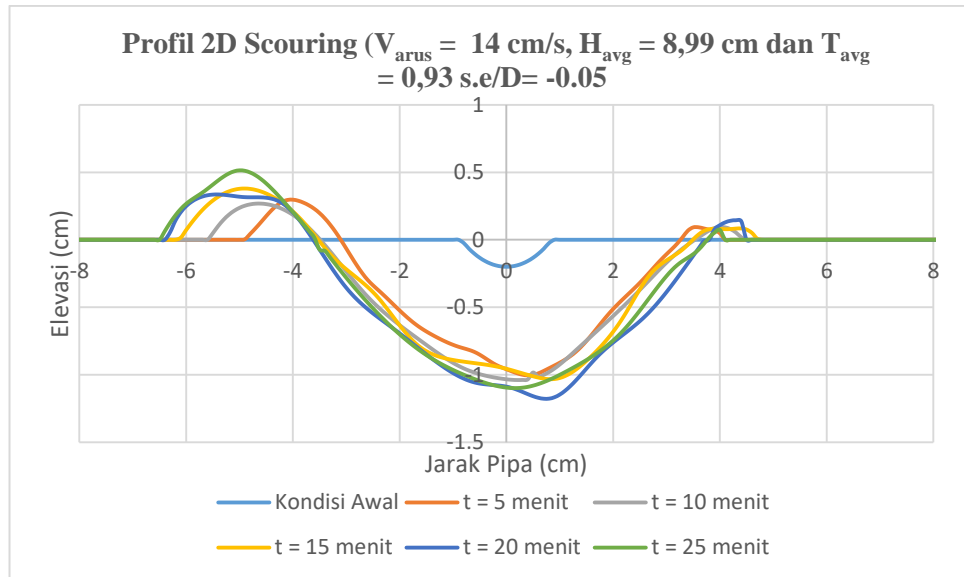
Gambar 4.52 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 2 mm pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,99 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 25$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 1,18 cm dengan lebar *scouring* mencapai 7.33 cm.



Gambar 4.53 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 2 mm pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,99 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.

Setelah semua data *profil scouring* mulai dari $t = 0$ menit sampai $t = 25$ menit di plot menggunakan AutoCad dan dimasukkan ke Microsoft Excel, berikut perubahan elevasi *scouring* hasil eksperimen.



Gambar 4.54 Perubahan profil 2D *scouring* kondisi pipa meletak ($e/D = -0.05$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,99 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.

Pada grafik, pipa diletakan pada koordinat 0,0. Dimana untuk jarak negatif merupakan daerah dibelakang pipa sedangkan jarak positif adalah daerah didepan pipa. Elevasi negatif merupakan kedalaman *scouring* yang terbentuk dan elevasi positif merupakan pasir yang terkumpul di atas koordinat pipa. Proses *scouring* terbentuk sejak awal gelombang dan arus dibangkitkan sampai eksperimen selesai ($t = 25$ menit).

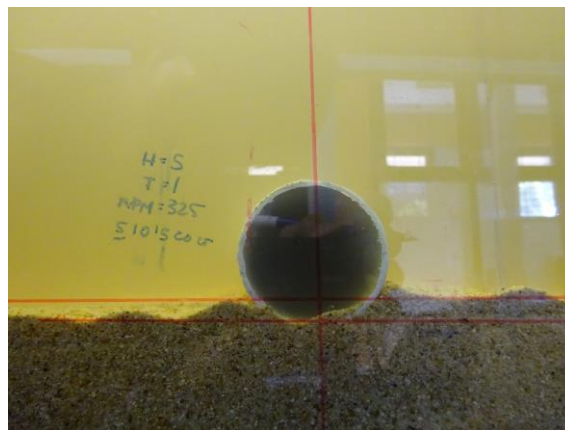
4.4.3 Hasil Eksperimen untuk Pipa Kondisi *In-Trench* $e/D = -0.105$)

Pengujian pertama yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi *In-Trench* 4 mm atau $e/D = -0.105$ ini adalah dengan $H_i = 5 \text{ cm}$ dan $T_i = 1$ detik dengan RPM pembangkit arus 325 atau $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$. Dari *input* data pengujian tersebut kemudian diolah kedalam Wavan dan menghasilkan $H_{\text{avg}} = 8,46 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$. Berikut adalah kondisi awal ($t = 0$ menit) pipa sebelum pengujian dilakukan.



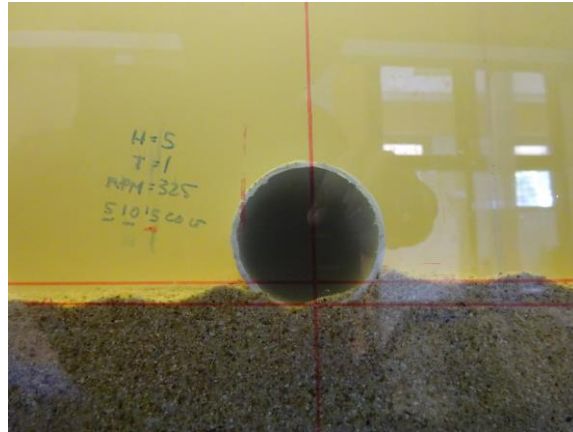
Gambar 4.55 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 4 mm pada kondisi awal ($t = 0$ s) menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 8,46$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,93$ s.

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 5$ menit tidak terbentuk *scouring* dan lebar *scouring* mencapai 2.49 cm.



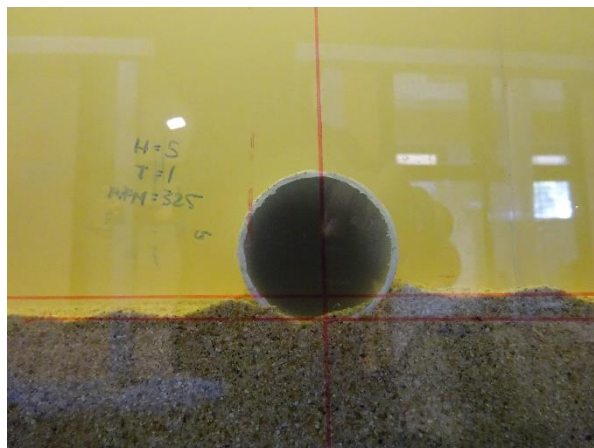
Gambar 4.56 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 4 mm pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 8,46$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,93$ s..

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 15$ menit tidak terbentuk *scouring* dan lebar *scouring* mencapai 2.65 cm.



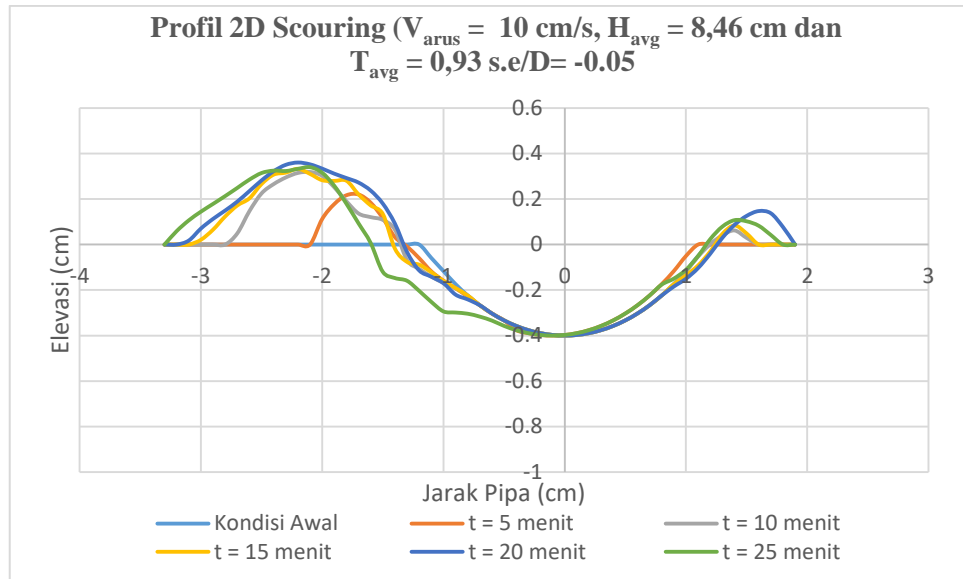
Gambar 4.57 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 4 mm pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,46 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 25$ menit tidak terbentuk *scouring* dan lebar *scouring* mencapai 2.77 cm .



Gambar 4.58 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 2 mm pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,46 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.

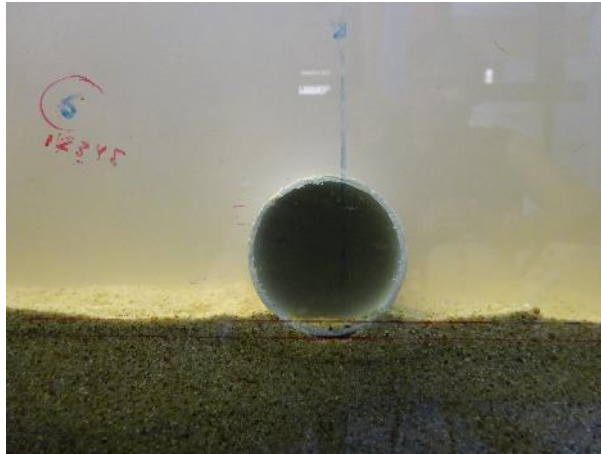
Setelah semua data *profil scouring* mulai dari $t = 0$ menit sampai $t = 25$ menit di plot menggunakan AutoCad dan dimasukkan ke Microsoft Excel, berikut perubahan elevasi *scouring* hasil eksperimen.



Gambar 4.59 Perubahan profil 2D *scouring* kondisi pipa meletak ($e/D = -0.105$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,46 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.

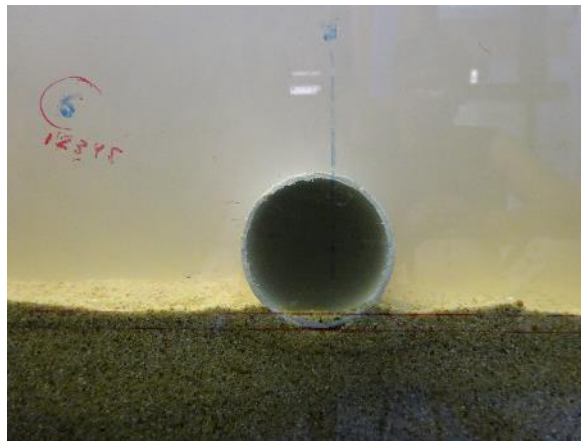
Pada grafik, pipa diletakan pada koordinat 0,0. Dimana untuk jarak negatif merupakan daerah dibelakang pipa sedangkan jarak positif adalah daerah didepan pipa. Elevasi negatif merupakan kedalaman *scouring* yang terbentuk dan elevasi positif merupakan pasir yang terkumpul di atas koordinat pipa. Proses *scouring* terbentuk sejak awal gelombang dan arus dibangkitkan sampai eksperimen selesai ($t = 25$ menit).

Pengujian kedua yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi *In-Trench 4mm* atau $e/D = -0.105$ ini adalah dengan $H_i = 5 \text{ cm}$ dan $T_i = 1$ detik dengan RPM pembangkit arus 435 atau $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$. Dari *input* data pengujian tersebut kemudian diolah kedalam Wavan dan menghasilkan $H_{\text{avg}} = 7,99 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$. Berikut adalah kondisi awal ($t = 0$ menit) pipa sebelum pengujian dilakukan.



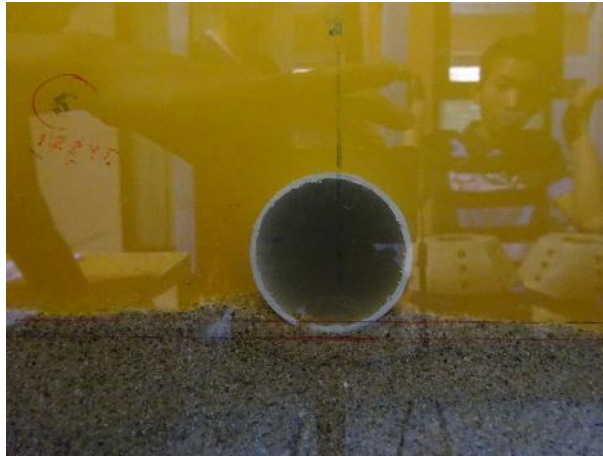
Gambar 4.60 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 4 mm pada kondisi awal ($t = 0$ s) menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 7,99$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,93$ s.

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 5$ menit tidak terbentuk *scouring* dan lebar *scouring* mencapai 2.51 cm.



Gambar 4.60 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 4 mm pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 7,99$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,93$ s.

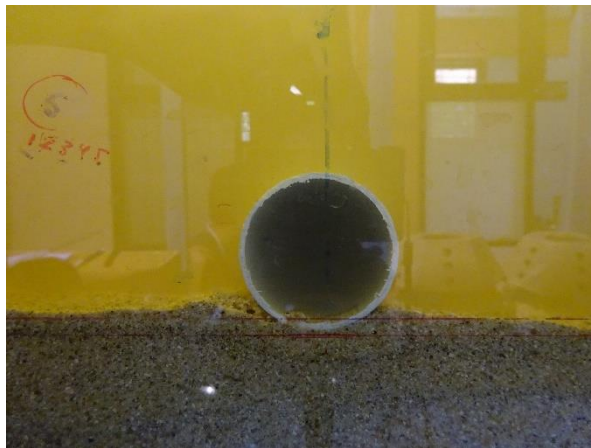
Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 15$ menit tidak terbentuk *scouring* dan lebar *scouring* mencapai 2.87 cm.



Gambar 4.61 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 4 mm pada $t = 15$ menit dengan

$$V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}, H_{\text{avg}} = 7,99 \text{ cm dan } T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s.}$$

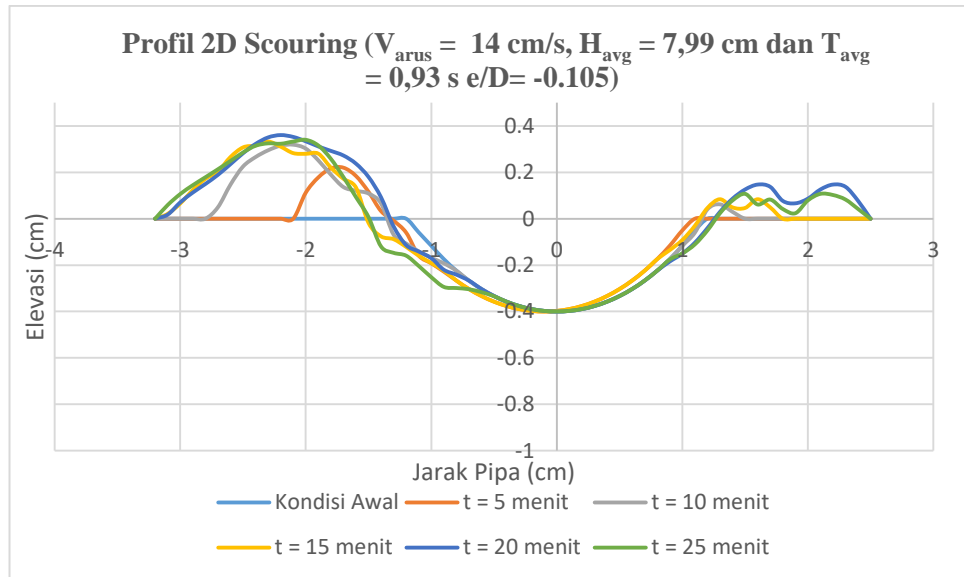
Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 25$ menit tidak terbentuk *scouring* dan lebar *scouring* mencapai 2.912 cm.



Gambar 4.62 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 4 mm pada $t = 25$ menit dengan

$$V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}, H_{\text{avg}} = 7,99 \text{ cm dan } T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s.}$$

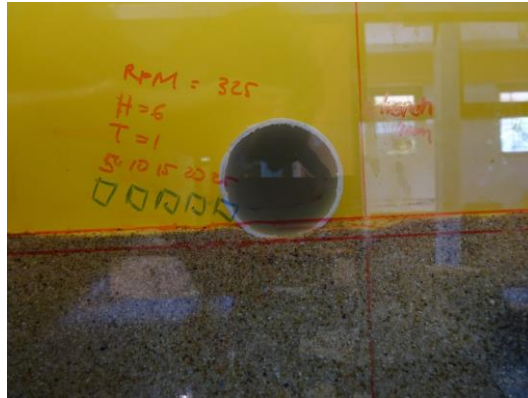
Setelah semua data *profil scouring* mulai dari $t = 0$ menit sampai $t = 25$ menit di plot menggunakan AutoCad dan dimasukkan ke Microsoft Excel, berikut perubahan elevasi *scouring* hasil eksperimen.



Gambar 4.63 Perubahan profil 2D *scouring* kondisi pipa meletak ($e/D = -0.105$ mm) dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 7,99$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,93$ s.

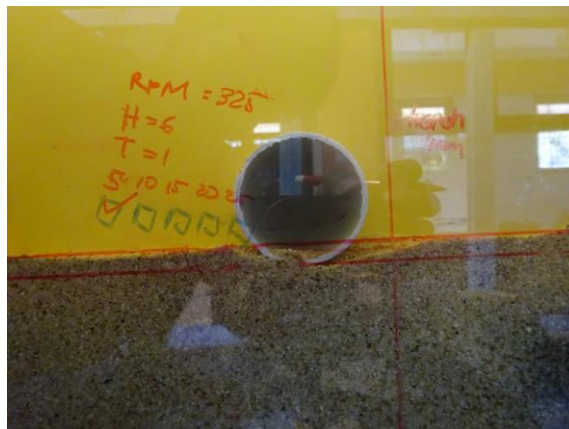
Pada grafik, pipa diletakan pada koordinat 0,0. Dimana untuk jarak negatif merupakan daerah dibelakang pipa sedangkan jarak positif adalah daerah didepan pipa. Elevasi negatif merupakan kedalaman *scouring* yang terbentuk dan elevasi positif merupakan pasir yang terkumpul di atas koordinat pipa. Proses *scouring* terbentuk sejak awal gelombang dan arus dibangkitkan sampai eksperimen selesai ($t = 25$ menit).

Pengujian ketiga yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi *In-Trench 4mm* atau $e/D = -0.105$ ini adalah dengan $H_i = 6$ cm dan $T_i = 1$ detik dengan RPM pembangkit arus 325 atau $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s. Dari *input* data pengujian tersebut kemudian diolah kedalam Wavan dan menghasilkan $H_{\text{avg}} = 9,70$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,97$ s. Berikut adalah kondisi awal ($t = 0$ menit) pipa sebelum pengujian dilakukan.



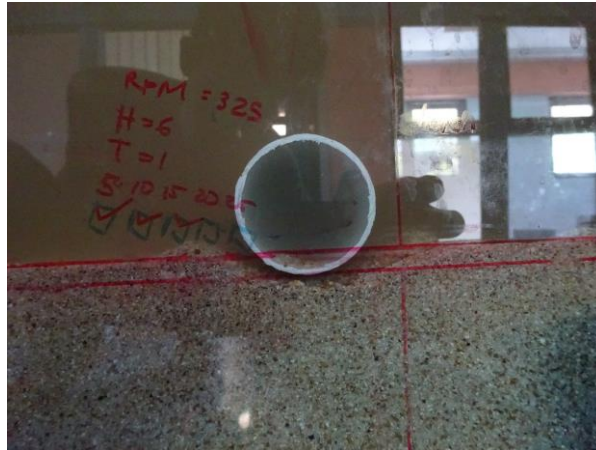
Gambar 4.64 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 4 mm pada kondisi awal ($t = 0$ s) menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 9,70$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,97$ s.

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 5$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 0,40 cm dengan lebar *scouring* mencapai 4.51 cm.



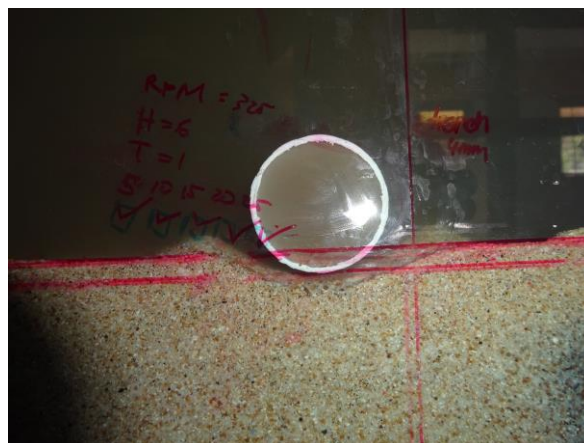
Gambar 4.65 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 4 mm pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 9,70$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,97$ s.

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 15$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 0,84 cm dengan lebar *scouring* mencapai 5.14 cm.



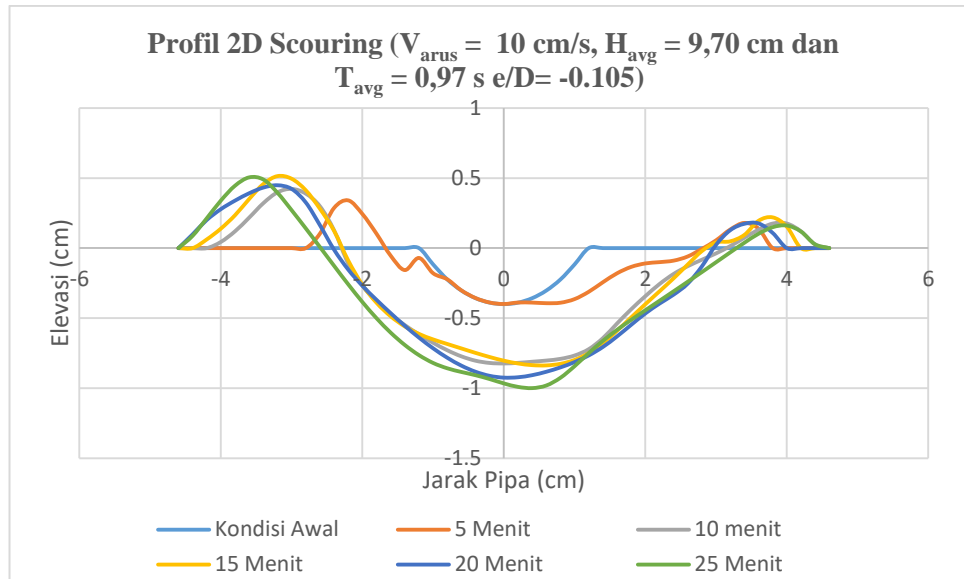
Gambar 4.66 Profil scouring pada pipa in-trench 4 mm pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 9,70 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,97 \text{ s}$.

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 25$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 0,99 cm dengan lebar *scouring* mencapai 5.88 cm.



Gambar 4.67 Profil *scouring* pada pipa in-trench 4 mm pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 9,70 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,97 \text{ s}$.

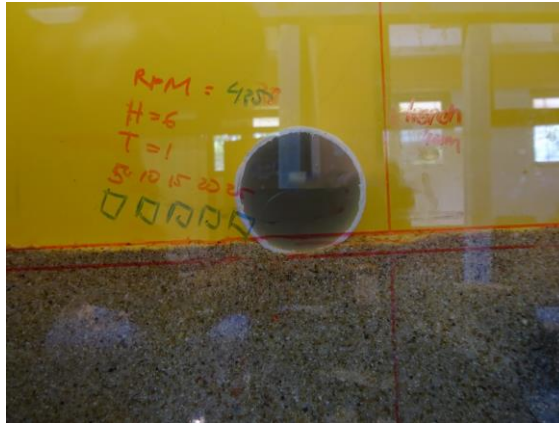
Setelah semua data *profil scouring* mulai dari $t = 0$ menit sampai $t = 25$ menit di plot menggunakan AutoCad dan dimasukkan ke Microsoft Excel, berikut perubahan elevasi *scouring* hasil eksperimen.



Gambar 4.68 Perubahan profil 2D *scouring* kondisi pipa meletak ($e/D = -0.105$) dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 9,70 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,97 \text{ s}$.

Pada grafik, pipa diletakan pada koordinat 0,0. Dimana untuk jarak negatif merupakan daerah dibelakang pipa sedangkan jarak positif adalah daerah didepan pipa. Elevasi negatif merupakan kedalaman *scouring* yang terbentuk dan elevasi positif merupakan pasir yang terkumpul di atas koordinat pipa. Proses *scouring* terbentuk sejak awal gelombang dan arus dibangkitkan sampai eksperimen selesai ($t = 25 \text{ menit}$).

Pengujian keempat yang dilakukan untuk pipa dengan kondisi *In-Trench* 4 mm atau $e/D = -0.105$ ini adalah dengan $H_i = 6 \text{ cm}$ dan $T_i = 1 \text{ detik}$ dengan RPM pembangkit arus 435 atau $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$. Dari *input* data pengujian tersebut kemudian diolah kedalam Wavan dan menghasilkan $H_{\text{avg}} = 9,58 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,92 \text{ s}$. Berikut adalah kondisi awal ($t = 0 \text{ menit}$) pipa sebelum pengujian dilakukan.



Gambar 4.69 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 4 mm pada kondisi awal ($t = 0$ s) menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 9,58$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,92$ s.

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 5$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 0,48 cm dengan lebar *scouring* mencapai 4.34 cm.



Gambar 4.70 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 4 mm pada $t = 5$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14$ cm/s, $H_{\text{avg}} = 9,58$ cm dan $T_{\text{avg}} = 0,92$ s..

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 15$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 0,87 cm dengan lebar *scouring* mencapai 5.33 cm.



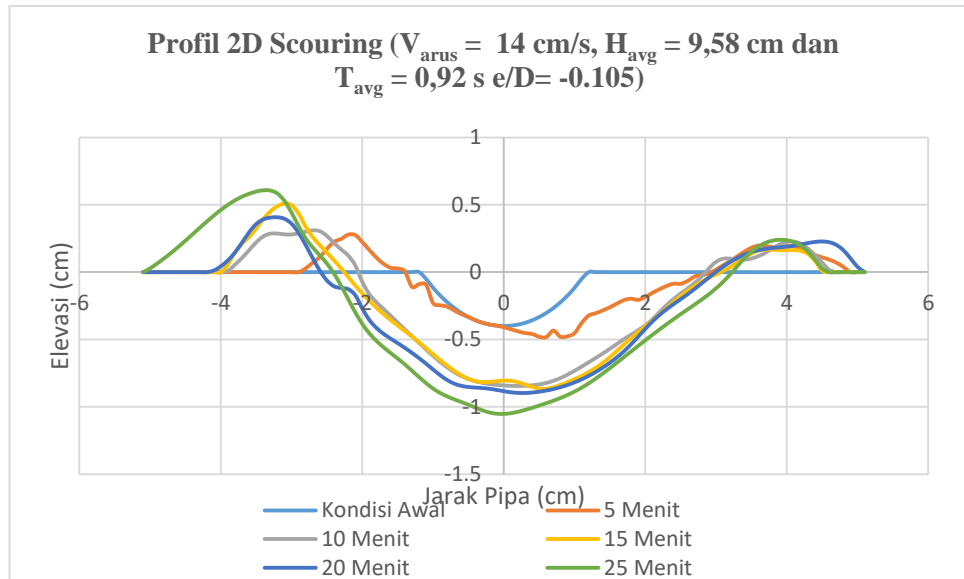
Gambar 4.71 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 4 mm pada $t = 15$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 9,58 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,92 \text{ s}$.

Setelah eksperimen dilakukan dengan $t = 25$ menit kondisi kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk adalah 1,05 cm dengan lebar *scouring* mencapai 5.61 cm.



Gambar 4.72 Profil *scouring* pada pipa *in-trench* 4 mm pada $t = 25$ menit dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 9,58 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,92 \text{ s}$.

Setelah semua data *profil scouring* mulai dari $t = 0$ menit sampai $t = 25$ menit di plot menggunakan AutoCad dan dimasukkan ke Microsoft Excel, berikut perubahan elevasi *scouring* hasil eksperimen.



Gambar 4.73 Perubahan profil 2D *scouring* kondisi pipa meletak ($e/D = -0.105$) dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 9,58 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,92 \text{ s}$.

Pada grafik, pipa diletakan pada koordinat 0,0. Dimana untuk jarak negatif merupakan daerah dibelakang pipa sedangkan jarak positif adalah daerah didepan pipa. Elevasi negatif merupakan kedalaman *scouring* yang terbentuk dan elevasi positif merupakan pasir yang terkumpul di atas koordinat pipa. Proses *scouring* terbentuk sejak awal gelombang dan arus dibangkitkan sampai eksperimen selesai ($t = 25 \text{ menit}$).

4.5 Laju Propagasi *Scouring*

Propagasi *scouring* dapat dihitung dengan sebuah persamaan. Bilangan Keulegan-Carpenter juga dapat dicari dengan persamaan --. Sudut datang gelombang tegak lurus dengan posisi pia dengan kemiringan 1:10 untuk slope. Nilai dari d_{50} dan *specific gravity* juga sudah didapatkan dari pengujian tanah. Berikut nilai laju propagasi *scouring* tiap *series* pengujian.

No	$Kw(1-e/D(1+\sin(\alpha)))$	$g(s-1)d_{50}^{-3}$	$D \tan \phi$	θ_w	KC	V_h
1	11.3	2.71E-09	0.0038	0.027	2.64	0.00061
2	11.3	2.71E-09	0.0038	0.024	2.45	0.00050
3	11.3	2.71E-09	0.0038	0.031	2.90	0.00080
4	11.3	2.71E-09	0.0038	0.036	3.48	0.00117
5	12.43	2.71E-09	0.0038	0.025	2.46	0.00058
6	12.43	2.71E-09	0.0038	0.024	2.41	0.00055
7	12.43	2.71E-09	0.0038	0.032	3.05	0.00096
8	12.43	2.71E-09	0.0038	0.030	2.81	0.00083
9	12.4865	2.71E-09	0.0038	0.028	2.74	0.00075
10	12.4865	2.71E-09	0.0038	0.025	2.49	0.00058
11	12.4865	2.71E-09	0.0038	0.038	3.77	0.00147
12	12.4865	2.71E-09	0.0038	0.027	2.59	0.00070

Tabel 4.1 Propagasi Scouring tiap variasi eksperimen

4.6 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Rumus Empiris

Supaya hasil penelitian bisa valid, maka perlu dilakukan perbandingan antara hasil eksperimen dengan hasil secara perhitungan empiris. Perhitungan ini menggunakan dasar secara teori untuk memvalidasi lebar dan kedalaman *scouring* pada tiap variasi percobaan. Pada proses pertama yaitu mencari nilai dari *wave number* (k). Nilai ini dicari dengan menggunakan metode iterasi lihat tabel 4.2.

Percobaan		T_p	g	Lo	L	k_p	h	w_p^2	$g k_p \tanh(k_p h)$	Error (%)
H_{avg} (cm)	T_{avg} (s)									
6.51	0.98	1.06	9.81	1.755	1.675	3.75	0.50	35.14	35.097	0.110
6.13	0.95	1.05	9.81	1.722	1.648	3.81	0.50	35.81	35.756	0.144
7.13	0.98	1.06	9.81	1.755	1.675	3.75	0.50	35.14	35.097	0.110
7.30	1.00	1.11	9.81	1.939	1.82	3.45	0.50	31.81	31.762	0.140
6.41	0.90	1.04	9.81	1.69	1.621	3.87	0.50	36.5	36.413	0.238
6.19	0.91	1.04	9.81	1.69	1.621	3.87	0.50	36.5	36.413	0.238
7.0994	0.9646	1.079	9.81	1.819	1.726	3.64	0.50	33.9	33.882	0.063
6.5096	0.9042	1.05	9.81	1.722	1.648	3.811	0.50	35.81	35.767	0.114
6.5071	0.9461	1.06	9.81	1.755	1.668	3.67	0.50	35.14	34.214	2.624
6.3346	0.9217	1.05	9.81	1.722	1.648	3.811	0.50	35.81	35.767	0.114
7.5359	0.9651	1.15	9.81	2.066	1.916	3.28	0.50	29.85	29.843	0.028
7.6555	0.9212	1.03	9.81	1.657	1.594	3.94	0.50	37.21	37.177	0.095

Tabel 4.2 Perhitungan Laju Propagasi dengan metode iterasi

Setelah itu nilai Keulegan-Carpenter (KC) dapat dihitung dengan persamaan. Berikut tabel hasil perhitungan KC dengan rumus tersebut.

Percobaan		T_p	k_p	w_p	H_{rms}	A_{rms}	U_{rms}	U_m	KC
H_{avg} (cm)	T_{avg} (s)								
6.51	0.98	1.06	3.75	5.93	0.072	0.011	0.067	0.095	2.637
6.13	0.95	1.05	3.81	5.98	0.069	0.010	0.063	0.089	2.446
7.13	0.98	1.06	3.75	5.93	0.079	0.012	0.074	0.104	2.901
7.30	1.00	1.11	3.45	5.64	0.081	0.015	0.084	0.119	3.481
6.41	0.90	1.04	3.87	6.04	0.072	0.011	0.064	0.09	2.460
6.19	0.91	1.04	3.87	6.04	0.070	0.010	0.063	0.088	2.413
7.10	0.96	1.08	3.64	5.82	0.079	0.013	0.076	0.108	3.046
6.51	0.90	1.05	3.81	5.98	0.079	0.012	0.072	0.102	2.806
6.51	0.95	1.06	3.67	5.93	0.072	0.012	0.070	0.098	2.735
6.33	0.92	1.05	3.81	5.98	0.070	0.011	0.064	0.09	2.488
7.54	0.97	1.15	3.28	5.46	0.080	0.016	0.088	0.125	3.765
7.66	0.92	1.03	3.94	6.10	0.078	0.011	0.068	0.096	2.594

Tabel 4.3 Hasil perhitungan nilai KC

Setelah *wave number* dan nilai KC didapatkan, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan kedalaman *scouring* dan lebar *scouring* menggunakan rumus empiris. Berikut hasil dari validasi kedalaman dan lebar *scouring* secara empiris.

Percobaan		KC	Semp/D	S_{exp} (cm)	S_{exp}/D	sinh (kh)	U_m	F	Semp/D.F	S
Havg (cm)	Tavg (s)									
6.509	0.983	1.926	0.146	0.884	0.232	3.92	0.5	1	0.146023	0.146023
6.133	0.949	2.564	0.169	0.894	0.235	3.92	0.5	1	0.168594	0.168594
7.134	0.983	2.059	0.151	0.903	0.237	3.92	0.6	1	0.150983	0.150983
7.301	0.999	2.064	0.151	1.047	0.275	3.92	0.6	1	0.151179	0.151179
6.410	0.904	1.877	0.146	0.905	0.237	3.92	0.6	1	0.146203	0.146203
6.190	0.913	2.403	0.166	1.064	0.279	3.92	0.5	1	0.165541	0.165541
7.099	0.965	4.470	0.226	1.110	0.291	3.92	0.6	1	0.226189	0.226189
6.510	0.904	4.790	0.234	1.178	0.309	3.92	0.6	1	0.234183	0.234183
6.507	0.946	5.037	0.244	0.000	0.000	3.92	0.6	1	0.243971	0.243971
6.335	0.922	3.905	0.215	0.000	0.000	3.92	0.6	1	0.214638	0.214638
7.536	0.965	4.337	0.226	1.000	0.262	3.92	0.6	1	0.226273	0.226273
7.656	0.921	4.797	0.238	1.052	0.276	3.92	0.7	1	0.238057	0.238057

Tabel 4.4 Hasil validasi nilai Sd (*Scour Depth*)

Parameter F adalah fungsi dari nilai KC dan $U_c/(U_c/U_m)$. Ketika $0.7 < U_c/(U_c/U_m) \leq 1$ maka nilai F yang digunakan adalah 1 (Sumer and Fredsoe 2002).

Percobaan		D (cm)	KC	e/D	W _{emp} /D	W _{exp} (cm)	W _{exp} /D
H _{avg} (cm)	T _{avg} (s)						
6.51	0.98	3.81	2.637	0.000	0.657	5.509	1.446
6.13	0.95	3.81	2.446	0.000	0.626	5.836	1.532
7.13	0.98	3.81	2.901	0.000	0.699	6.149	1.614
7.30	1.00	3.81	3.481	0.000	0.787	7.2	1.890
6.41	0.90	3.81	2.460	-0.050	0.628	5.738	1.506
6.19	0.91	3.81	2.413	-0.050	0.620	6.346	1.666
7.10	0.96	3.81	3.046	-0.050	0.722	7.592	1.993
6.51	0.90	3.81	2.806	-0.050	0.684	7.327	1.923
6.51	0.95	3.81	2.735	-0.105	0.673	2.768	0.726
6.33	0.92	3.81	2.488	-0.105	0.633	2.913	0.765
7.54	0.97	3.81	3.765	-0.105	0.829	5.877	1.543
7.66	0.92	3.81	2.594	-0.105	0.650	5.614	1.474

Tabel 4.5 Hasil validasi nilai Wd (Lebar *Scouring*)

Nilai dari S_{emp} merupakan hasil kedalaman *scouring* sesuai perhitungan hasil empiris sedangkan S_{exp} merupakan kedalaman *scouring* berdasarkan hasil eksperimen. Begitu pula dengan W_{emp} merupakan hasil kedalaman *scouring* dari hasil perhitungan empiris sedangkan W_{exp} merupakan lebar *scouring* berdasarkan hasil eksperimen yang dihitung dari belakang pipa (-Wd) sampai depan pipa (+Wd).

Berdasarkan dari validasi tersebut untuk kedalaman *scouring* secara empiris memiliki perbedaan antara hasil kedalaman *scouring* dengan eksperimen. Untuk lebar *scouring* juga demikian, hal ini dikarenakan parameter e/D dan parameter arus tidak dimasukkan kedalam perhitungan empiris padahal pada saat eksperimen gelombang dan arus digunakan secara bersamaan. Sehingga, persamaan ini kurang cocok digunakan dalam eksperimen ini.

4.7 Perbandingan Hasil Ekperimen

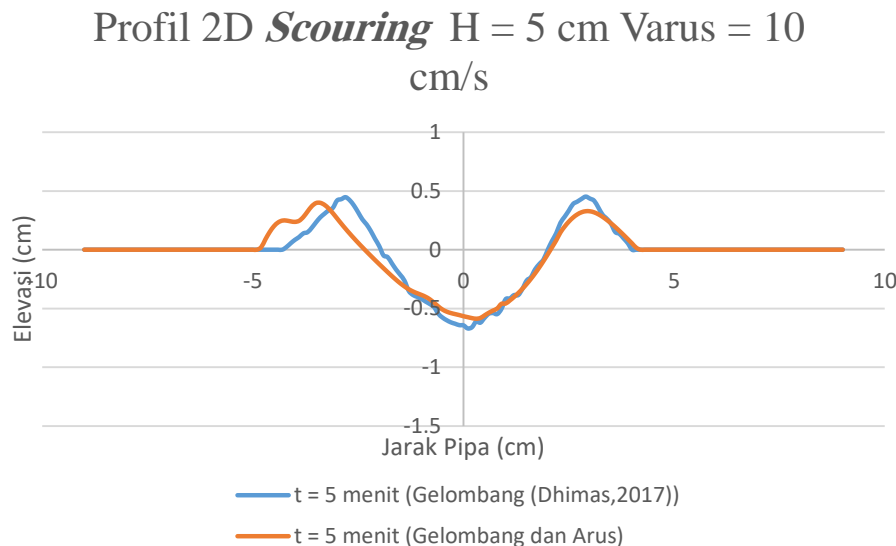
Beberapa penelitian terkait *scouring* pada pipa telah banyak dilakukan, namun hanya sedikit yang membahas masalah *scouring* pada pipa dengan kondisi in-trench. Salah satu penelitian sebelumnya dilakukan oleh Dimas,2017 yang melakukan eksperimen *scouring* akibat pengaruh gelombang ireguler. Pada eksperimen ini juga menggunakan pipa berukuran 1,5 inch, akan tetapi variabel arus

belum dimasukkan sebagai variasi dalam eksperimen. Padahal, ketika dikondisi *real* pasti terjadi pengaruh kombinasi gelombang dan arus yang akan mempengaruhi *scouring* tersebut. Berikut perbandingan hasil *scouring* pada kondisi pipa meletak.

Hasil eksperimen ini perlu dilakukan perbandingan dengan penelitian sebelumnya. Data-data tersebut kemudian diplot dengan penelitian sebelumnya yaitu Dimas,2017 yang juga melakukan penelitian mengenai *scouring* dibawah pipa dengan variasi *trench* dan gelombang tanpa arus. Berikut adalah grafik perbandingan antara penelitian *scouring* sebelumnya.

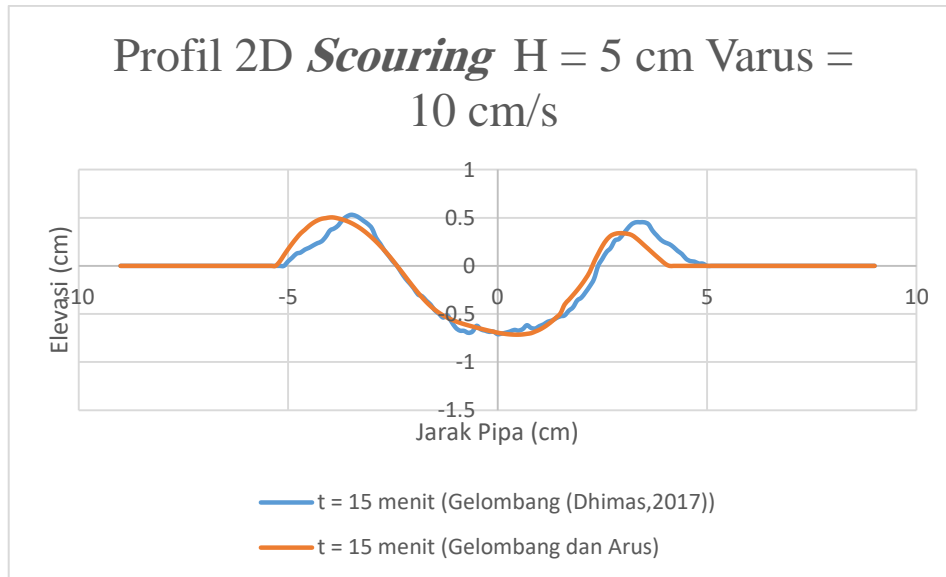
4.7.1 Perbandingan Eksperimen *Scouring* untuk Pipa Kondisi Meletak

Pengujian *scouring* menggunakan variasi gelombang dan arus dengan penelitian sebelumnya (gelombang saja), menggunakan variasi tinggi gelombang input dan periode input yang sama yaitu $H_i = 5$ cm dan $T_i = 1$ detik. Hanya saja untuk penelitian ini ditambahkan variasi arus 10 cm/s dalam pengujian *scouring* dibawah pipa.

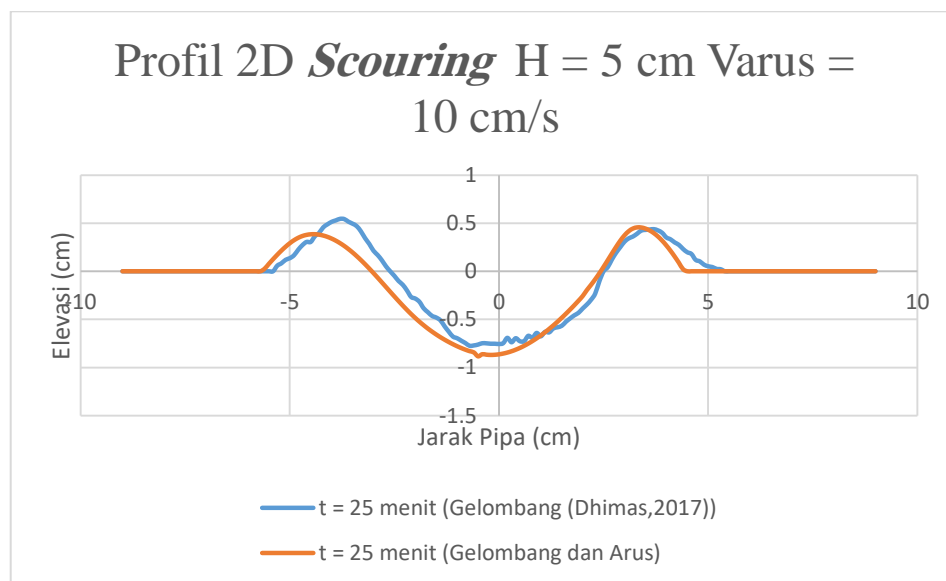


Gambar

4.74 Perbandingan Profil 2D *Scouring* gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi meletak dengan $t = 5$ menit

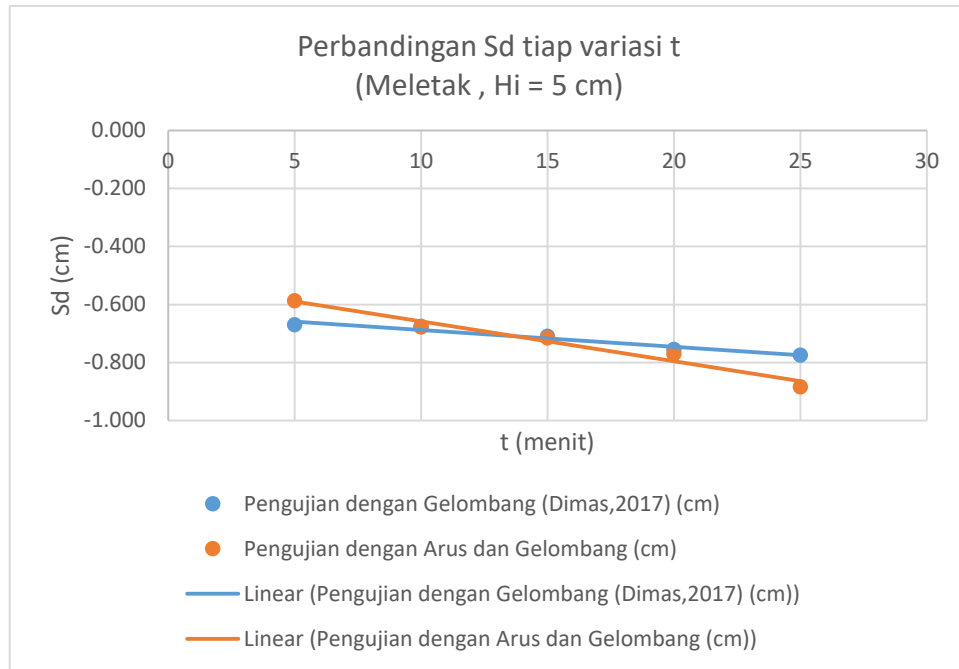


Gambar 4.75 Perbandingan Profil 2D *Scouring* gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi meletak dengan t = 15 menit



Gambar 4.76 Perbandingan Profil 2D *Scouring* gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi meletak dengan t = 25 menit

Setelah data-data penelitian di plot dan di *overlay*, kemudian perbedaan kedalaman *scouring* (Sd) dibandingkan antara penelitian variasi gelombang dengan arus dan tanpa arus. Berikut perbandingan kedalaman *scouring* mulai dari kondisi t = 5 menit sampai t = 25 menit.



Gambar 4.77 Perbandingan Profil 2D *Scouring* gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi meletak pada t = 5 menit sampai t = 25 menit

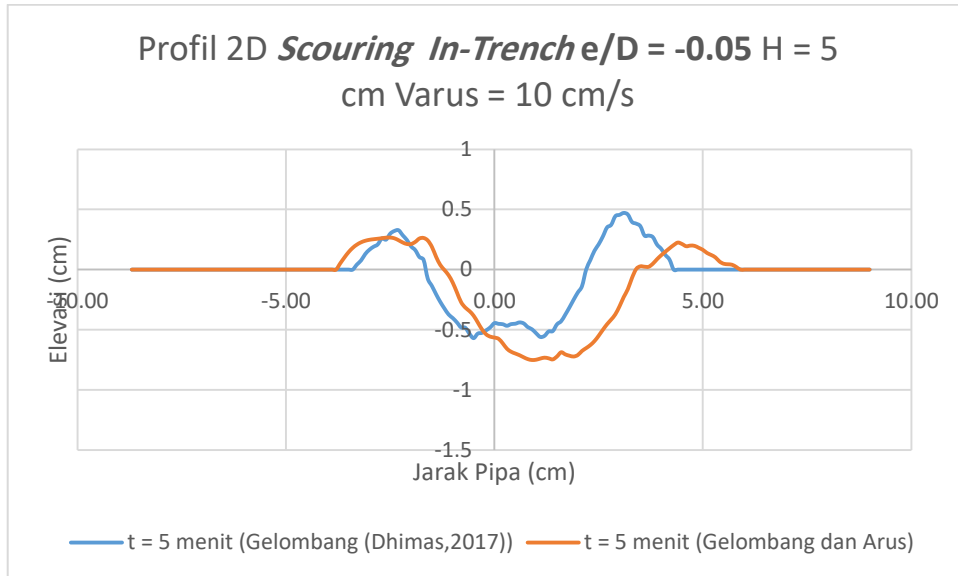
Perbandingan Kedalaman Scouring		
t (menit)	Pengujian dengan Gelombang (Dimas,2017) (cm)	Pengujian dengan Arus dan Gelombang (cm)
0	0.000	0.000
5	-0.670	-0.58726
10	-0.675	-0.67811
15	-0.71	-0.7152
20	-0.755	-0.76985
25	-0.775	-0.88417

Tabel 4.6 Perbandingan *Scour Depth* (Sd) variasi gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi meletak pada t = 5 menit sampai t = 25 menit

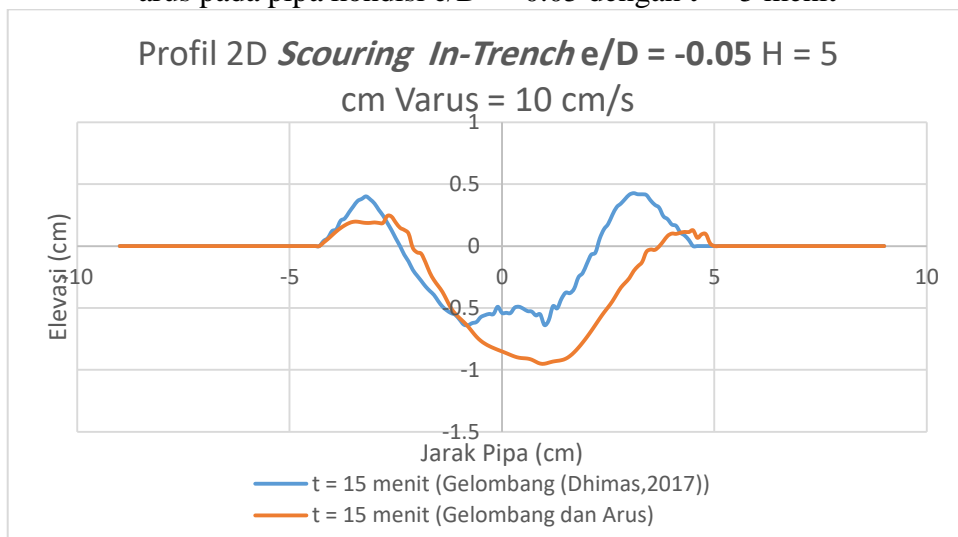
Dari data-data yang sudah dilakukan perbandingan tersebut, terlihat bahwa penelitian *scouring* pada pipa antara penelitian variasi gelombang dengan arus dan tanpa arus terdapat perbedaan. Kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk setelah variasi arus dimasukkan mengalami kenaikan sebesar **10.92%**.

4.7.2 Perbandingan Eksperimen *Scouring* untuk Pipa Kondisi *In-Trench* $e/D = -0.05$.

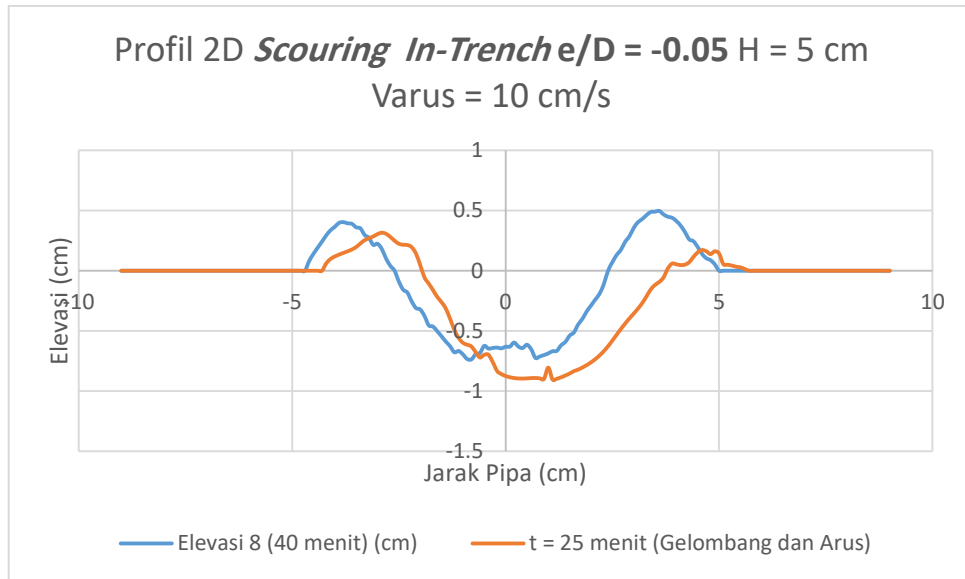
Pengujian *scouring* menggunakan variasi gelombang dan arus dengan penelitian sebelumnya (gelombang saja), menggunakan variasi tinggi gelombang input dan periode input yang sama yaitu $H_i = 5$ cm dan $T_i = 1$ detik dalam pipa kondisi yang sama yaitu *In-Trench* $e/D = -0.05$. Hanya saja untuk penelitian ini ditambahkan variasi arus yaitu 10 cm/s dalam pengujian *scouring* dibawah pipa.



Gambar 4.78 Perbandingan Profil 2D *Scouring* gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi $e/D = -0.05$ dengan $t = 5$ menit



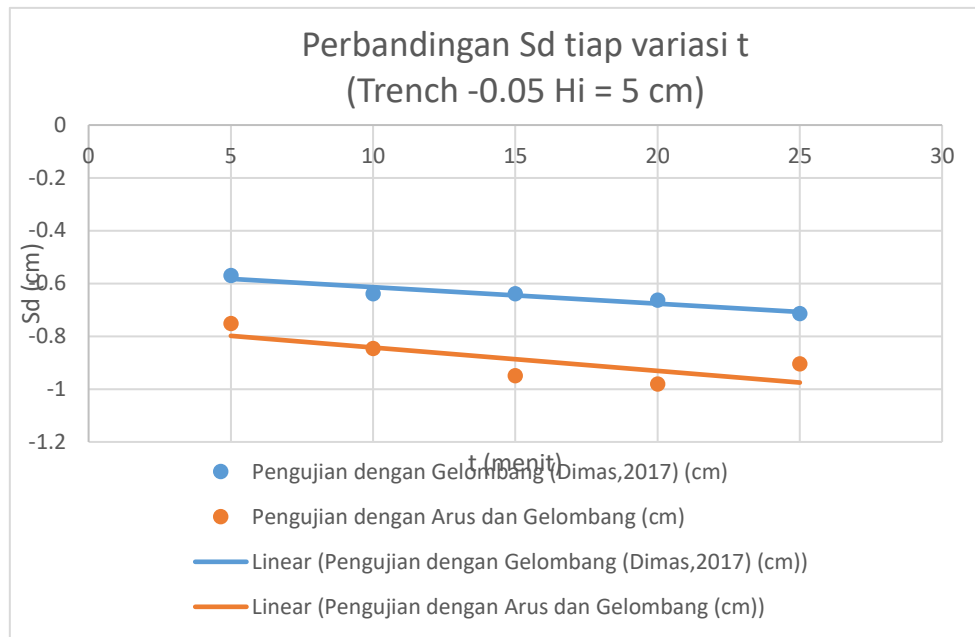
Gambar 4.79 Perbandingan Profil 2D *Scouring* gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi $e/D = -0.05$ dengan $t = 15$ menit



Gambar 4.80 Perbandingan Profil 2D *Scouring* gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi $e/D = -0.05$ dengan $t = 25$ menit

Setelah data-data penelitian di plot dan di *overlay*, kemudian perbedaan kedalaman *scouring* (S_d) dibandingkan antara penelitian variasi gelombang dengan arus dan tanpa arus. Berikut perbandingan kedalaman *scouring* mulai dari kondisi $t = 5$ menit sampai $t = 25$ menit.

Setelah data-data penelitian di plot dan di *overlay*, kemudian perbedaan kedalaman *scouring* (S_d) dibandingkan antara penelitian variasi gelombang dengan arus dan tanpa arus. Berikut perbandingan kedalaman *scouring* mulai dari kondisi $t = 5$ menit sampai $t = 25$ menit.



Gambar 4.81 Perbandingan Profil 2D *Scouring* gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi $e/D = -0.05$ pada $t = 5$ menit sampai $t = 25$ menit

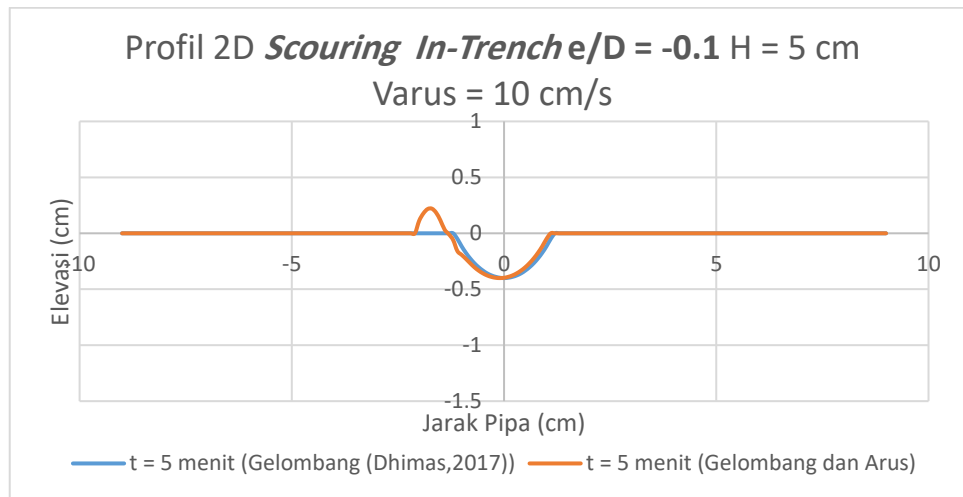
Perbandingan Kedalaman Scouring		
t (menit)	Pengujian dengan Gelombang (Dimas,2017) (cm)	Pengujian dengan Arus dan Gelombang (cm)
0	0.000	0.000
5	-0.57	-0.75141
10	-0.639	-0.84619
15	-0.639	-0.95008
20	-0.664	-0.98145
25	-0.714	-0.90487

Tabel 4.7 Perbandingan *Scour Depth* (Sd) variasi gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi meletak pada $t = 5$ menit sampai $t = 25$ menit

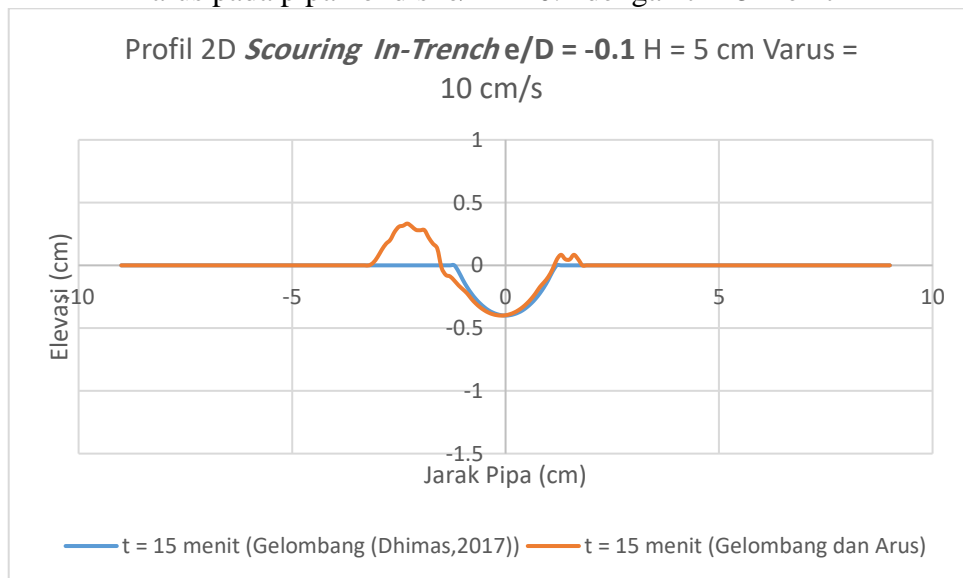
Dari data-data yang sudah dilakukan perbandingan tersebut, terlihat bahwa penelitian *scouring* pada pipa antara penelitian variasi gelombang dengan arus dan tanpa arus terdapat perbedaan. Kedalaman *scouring* maksimum yang terbentuk setelah variasi arus dimasukkan mengalami kenaikan sebesar **19.087%**.

4.7.3 Perbandingan Eksperimen *Scouring* untuk Pipa Kondisi *In-Trench* $e/D = -0.1$

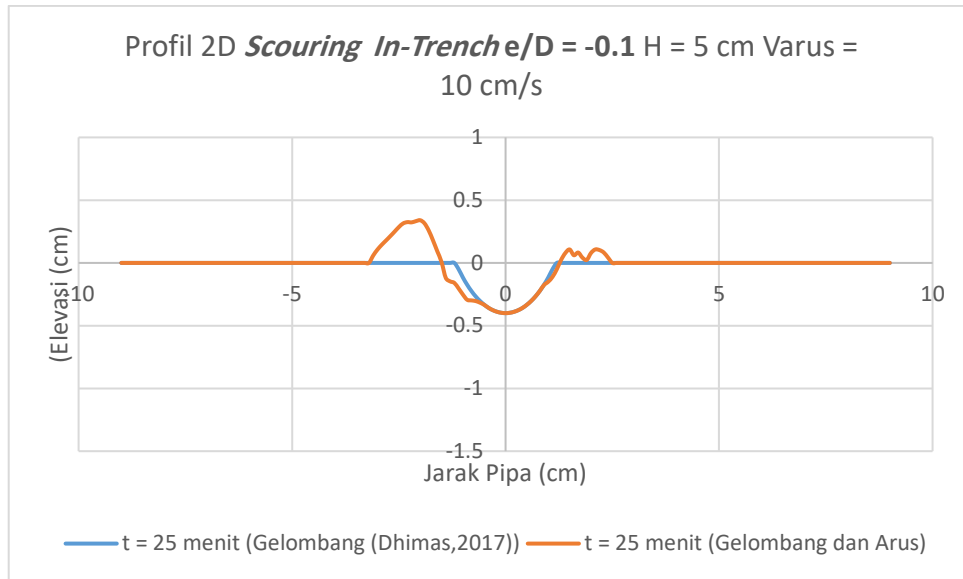
Pengujian *scouring* menggunakan variasi gelombang dan arus dengan penelitian sebelumnya (gelombang saja), menggunakan variasi tinggi gelombang input dan periode input yang sama yaitu $H_i = 5$ cm dan $T_i = 1$ detik dalam pipa kondisi yang sama yaitu *In-Trench* $e/D = -0.1$. Hanya saja untuk penelitian ini ditambahkan variasi arus yaitu 10 cm/s dalam pengujian *scouring* dibawah pipa.



Gambar 4.82 Perbandingan Profil 2D *Scouring* gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi $e/D = -0.1$ dengan $t = 5$ menit



Gambar 4.83 Perbandingan Profil 2D *Scouring* gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi $e/D = -0.1$ dengan $t = 15$ menit



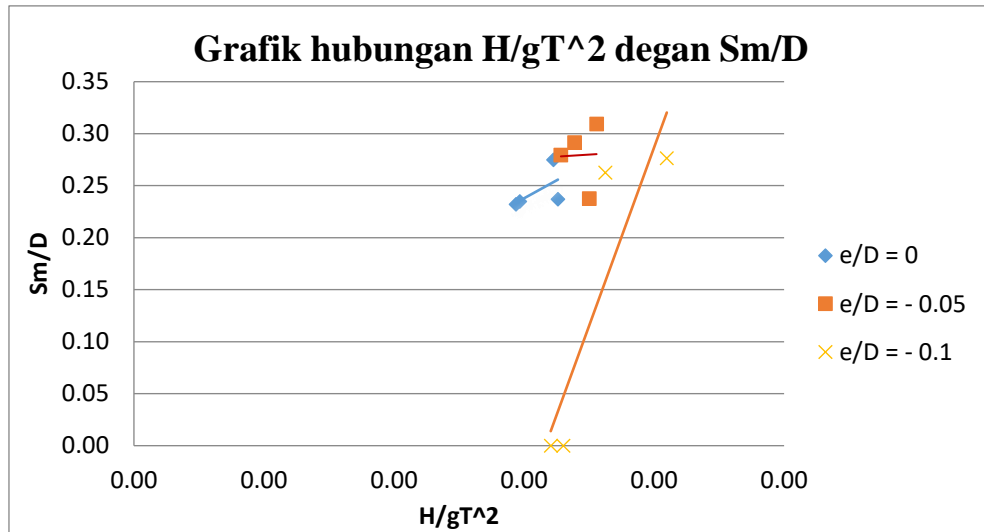
Gambar 4.84 Perbandingan Profil 2D *Scouring* gelombang dengan arus dan tanpa arus pada pipa kondisi $e/D = -0.1$ dengan $t = 25$ menit

Pada penelitian Dimas, 2017 untuk variasi $H_i = 5$ cm, $T_i = 1$ s dan *In-Trench* $e/D = -0.1$ pada saat kondisi awal ($t = 0$ menit) sampai $t = 25$ menit tidak terjadi scouring sama sekali. Untuk penelitian ini, dengan H_i , T_i dan e/D yang sama juga tidak mengalami penambahan kedalam *scouring* dibawah pipa di $t = 0$ menit sampai $t = 25$ menit. Tetapi terdapat perubahan lebar scouring pada variasi tersebut.

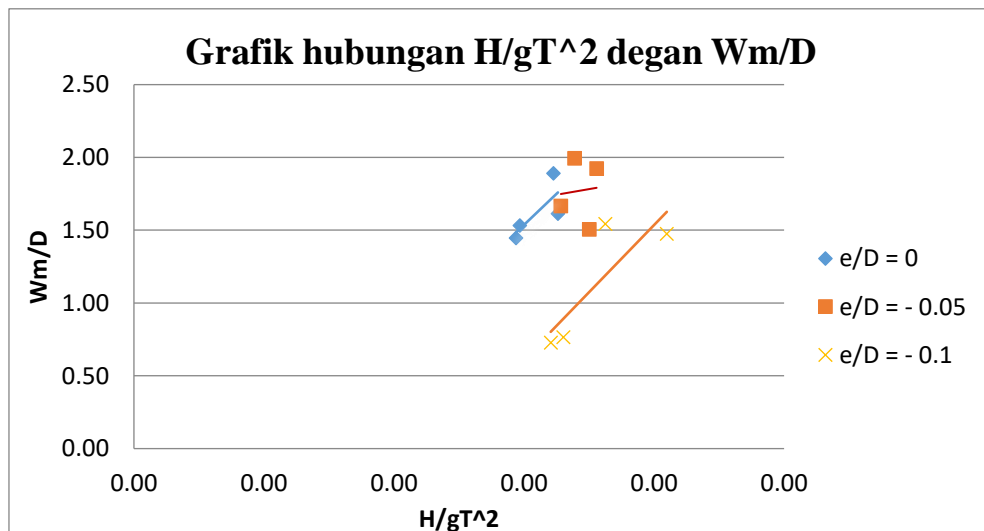
Dari perbandingan diatas, dapat diketahui bahwa arus sangat berpengaruh terhadap *scouring*. Semakin besar arus maka semakin dalam *scouring* yang terjadi. Hal ini dikarenakan arus membantu dalam proses perpindahan sedimen dari bawah pipa akibat pengaruh orbital flow dari gelombang ireguler.

4.8 Perbandingan Parameter Tak Berdimensi

Hasil dari eksperimen yang sebelumnya di plot menggunakan Autocad dan di plot propagasinya. Data-data tersebut dapat dibandingkan dengan parameter tak berdimensi. Parameter pertama adalah *wave steepness parameter* (H/gT^2). Di dalam parameter ini dapat diketahui hubungan antara tinggi gelombang dan periode yang digunakan. Berikut hasil perbandingan kedalaman *scouring* dan lebar *scouring* terhadap parameter *wave steepness* (H/gT^2).



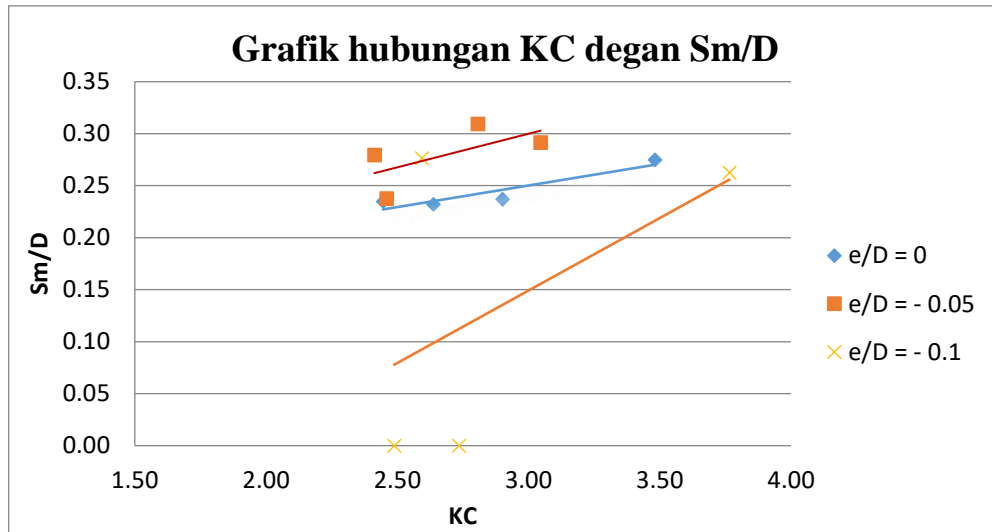
Gambar 4.85. Grafik hubungan antara *Scour Depth* (S_m/D) dengan *wave steepness parameter* (H/gT^2).



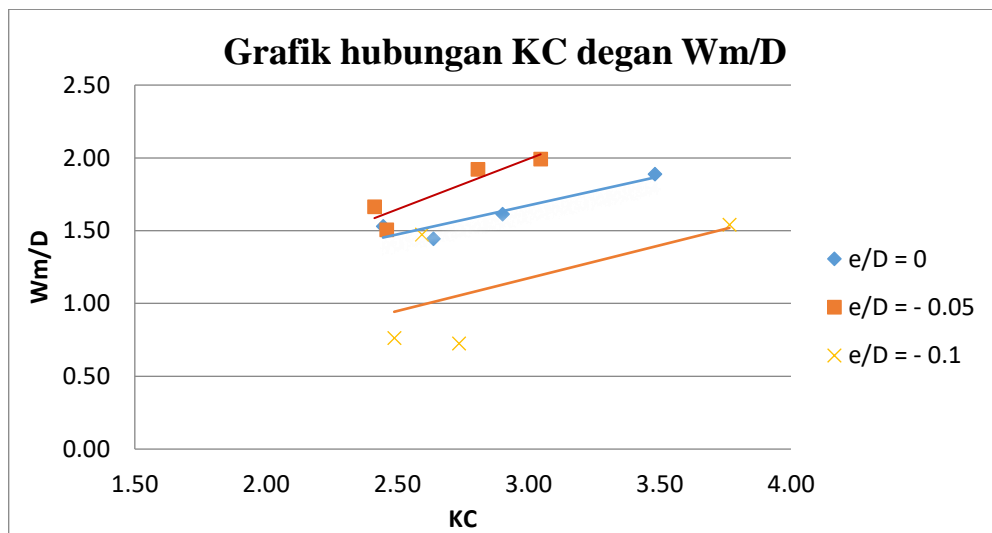
Gambar 4.86. Grafik hubungan antara *Lebar Scouring* (W_m/D) dengan *wave steepness parameter* (H/gT^2).

Dari grafik perbandingan diatas, dapat diketahui bahwa nilai H mempengaruhi terjadinya *scouring*. Perlu diketahui bahwa nilai T (periode) tidak divariasikan dalam eksperimen ini. Semakin besar nilai H (tinggi gelombang) maka semakin besar pula lebar dan kedalaman *scouring* yang terbentuk.

Selain parameter *wave steepness* (H/gT^2) terdapat parameter yang mempengaruhi terjadinya *scouring* yaitu nilai Keulegan-Carpenter (KC). Berikut adalah hubungan antara nilai KC dengan lebar dan kedalaman *scouring* yang terbentuk.



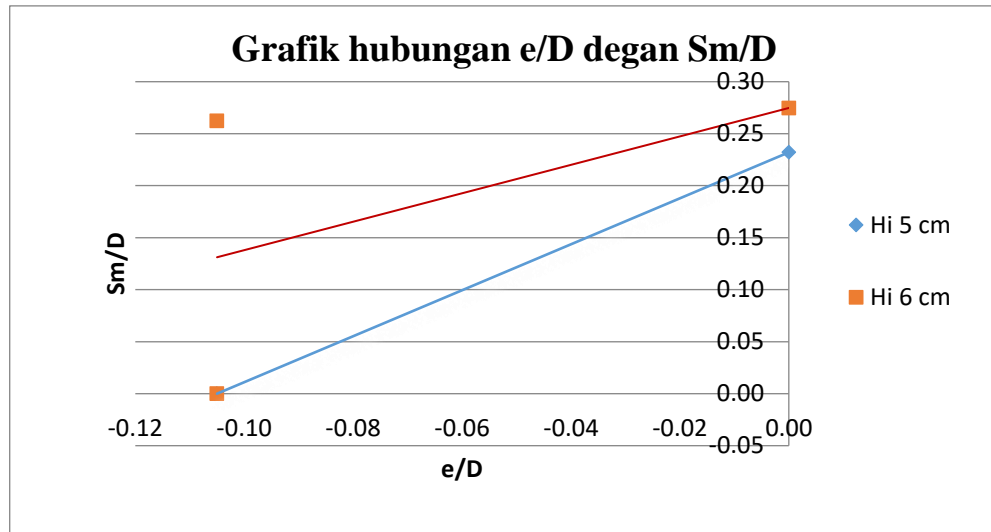
Gambar 4.87. Grafik hubungan antara Lebar *Scouring* (W_m/D) dengan nilai KC (Keulegan-Carpenter).



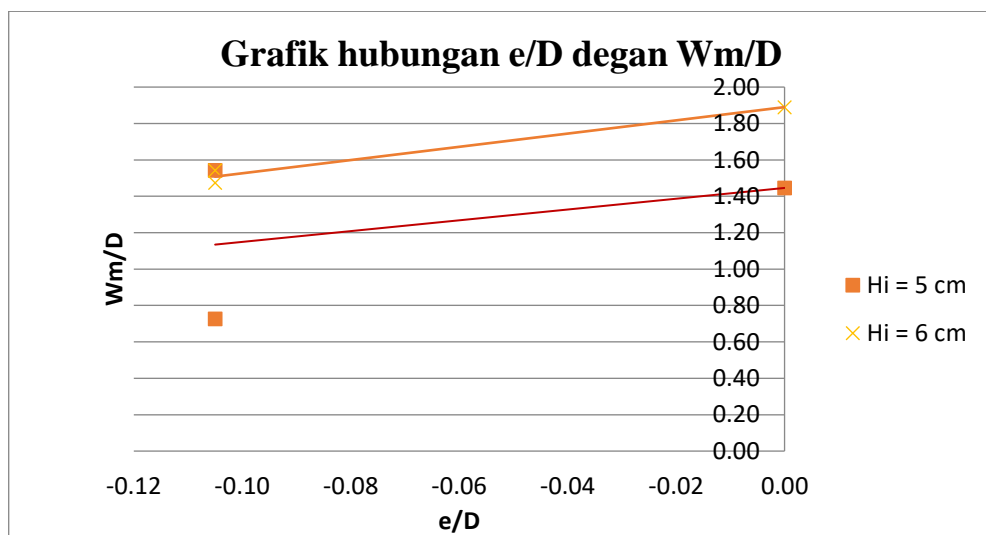
Gambar 4.88. Grafik hubungan antara Lebar *Scouring* (W_m/D) dengan nilai KC (Keulegan-Carpenter).

Dari perbandingan diatas dapat diketahui bahwa semakin besar KC (Keulegan-Carpenter number maka semakin lebar dan dalam hasil *scouring* yang didapatkan.

Parameter selanjutnya adalah parameter e/D (burial depth-diameter ratio) atau kedalaman *trenching* pada pipa. Berikut perbandingan e/D terhadap lebar dan dalam *scouring* yang terbentuk dalam eksperimen.



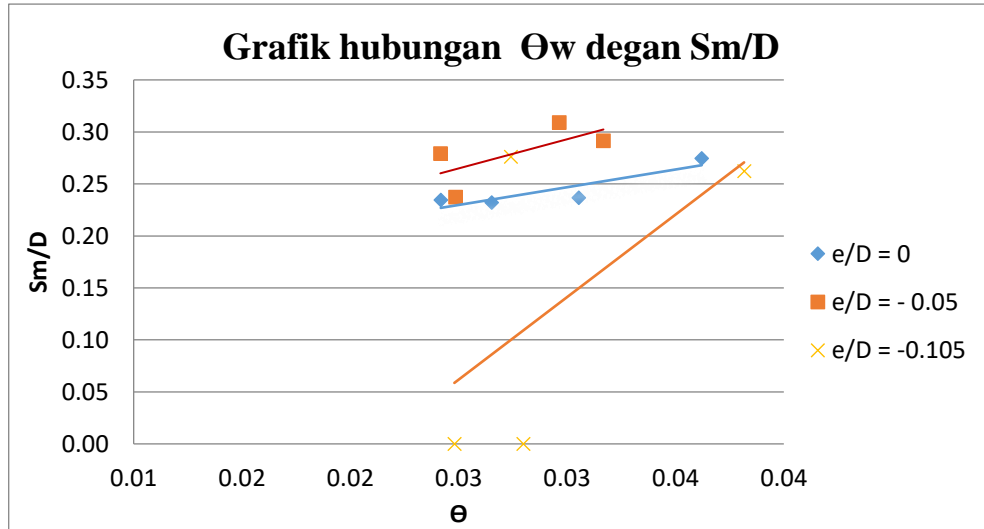
Gambar 4.89. Grafik hubungan antara Kedalaman *Scouring* (S_m/D) dengan nilai e/D (burial depth-diameter ratio)



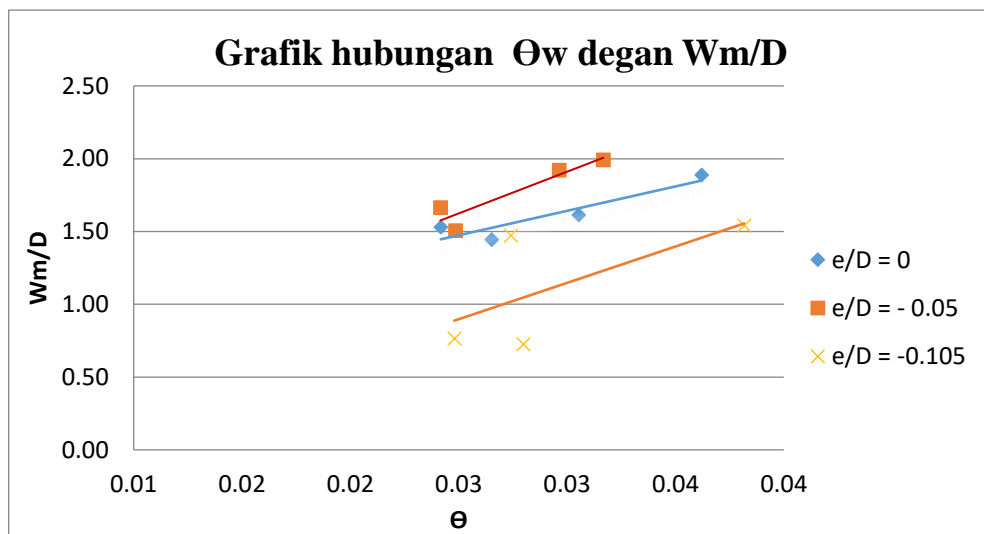
Gambar 4.90. Grafik hubungan antara Lebar *Scouring* (W_m/D) dengan nilai e/D (burial depth-diameter ratio).

Dari grafik perbandingan diatas, parameter e/D (burial depth-diameter ratio) mempengaruhi terjadinya *scouring*. Semakin besar nilai e (gap antara pipa dengan dasar) maka semakin besar pula kedalaman dan lebar *scouring* yang terbentuk. Perlu diketahui parameter diameter pipa tidak divariasikan dalam eksperimen ini, hanya dilakukan variasi kondisi pipa pada posisi meletak sampai dengan *in-Trench* (e = negatif).

Parameter selanjutnya adalah *shield parameter* (θ). Berikut adalah grafik perbandingan antara *shield parameter* (θ) dengan lebar dan kedalaman *scouring* yang terbentuk.



Gambar 4.91. Grafik hubungan antara Kedalaman *Scouring* (S_m/D) dengan nilai *shield parameter* (θ).



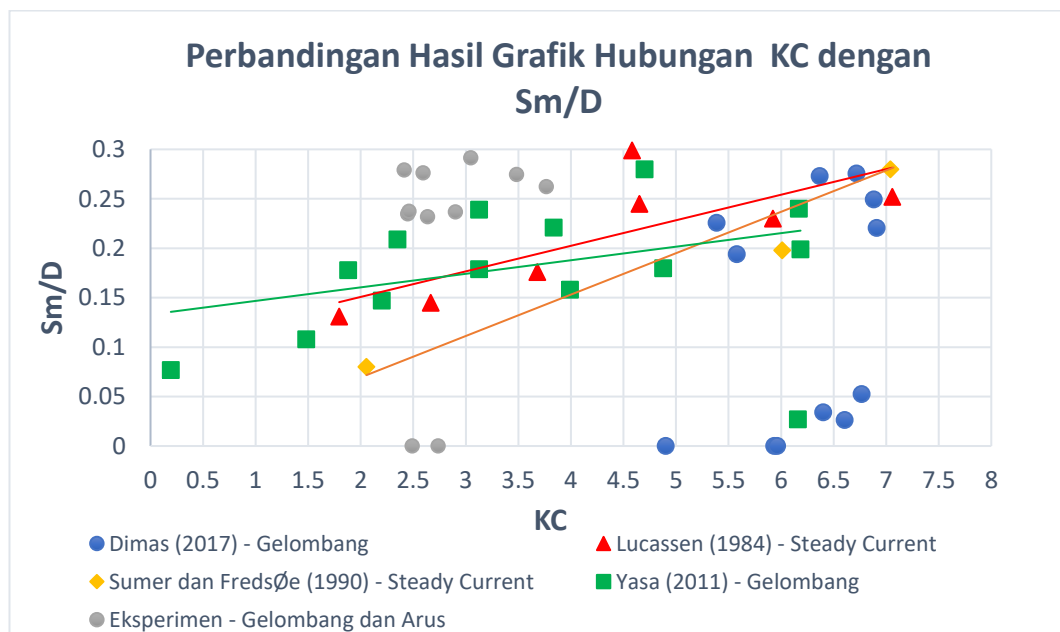
Gambar 4.92. Grafik hubungan antara Lebar *Scouring* (W_m/D) dengan nilai *shield parameter* (θ).

Dari grafik diatas, diketahui bahwa semakin besar *shield parameter* (θ) maka semakin besar lebar dan kedalaman *scouring* yang terbentuk. Paramter ini digunakan untuk mengetahui hubungan antara kekasaran sedimen dengan pergerakan sedimen itu sendiri. Dalam eksperimen ini pasir yang digunakan memiliki

nilai ukuran butir tanah (d_{50}) yang sama setiap variasi. Jadi yang mempengaruhi *shield parameter* (θ) diatas adalah kecepatan orbital, semakin besar kecepatan orbital maka semakin besar pula lebar dan kedalaman *scouring*.

4.9 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Penelitian lain

Penelitian mengenai *scouring* untuk mencari nilai Sm/D atau Wm/D sudah banyak dilakukan sebelumnya. Salah satu penelitian tersebut adalah Sumer dan Fredsøe (1990), Lucassen (1984) dan Yasa (2011). Terdapat beberapa parameter yang berbeda-beda sebagai pembading untuk terjadinya kedalaman dan lebar *scouring*. Berikut perbandingan antara hasil eksperimen dengan eksperimen penelitian lain sebelumnya.



Gambar 4.93 Perbandingan dengan penelitian sebelumnya,

Pada penelitian Sumer dan Fredsøe (1990), menggunakan ukuran diameter pipa yang berbeda yaitu 5 cm dengan pengaruh *steady current*. Dalam grafik tersebut dapat dilihat bahwa pengaruh diameter pipa mempengaruhi terjadinya *scouring*, semakin besar nilai D maka semakin kecil kedalaman *scouring* yang terbentuk. Pada penelitian Lucassen (1984), pipa yang digunakan berukuran 2,5 cm – 7,5 cm dan juga menggunakan arus (*steady current*) untuk eksperimennya. Sedangkan untuk penelitian Yasa (2011), ukuran pipa yang digunakan tidak disebutkan, namun menggunakan gelombang untuk eksperimennya. Dalam

grafik tersebut juga diketahui bahwa pengaruh dari gelombang dan arus mempengaruhi kedalaman dan lebar *scourig*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah eksperimen mengenai *scouring* dilakukan dengan variasi gelombang, arus ireguler dan posisi peletakan pipa, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada pipa kondisi meletak, kedalaman *scouring* yang terbentuk berkisar antara 0,884 – 1,0467 cm dengan lebar *scouring* berkisar antara 5,51 – 7,2 cm. Pada pipa kondisi *in-trench 2 mm*, kedalaman *scouring* yang terbentuk tidak mengalami perubahan significant, yaitu berkisar antara 0.9 – 1.17 cm. Lebar *scouring* yang terbentuk yaitu berkisar antara 5,7 – 7,59 cm. Pada pipa kondisi *in-trench 4 mm*, kedalaman *scouring* yang terbentuk semakin mengecil significant, yaitu berkisar antara 0 – 1.5 cm. Lebar *scouring* yang terbentuk yaitu berkisar antara 2,7 – 5,6 cm.
2. Laju propagasi *scouring* pada kondisi meletak ($e/D = 0$) berkisar antara 0,00061 m/s – 0,0011 m/s. Sedangkan pada kondisi *in-trench* ($e/D < 0$), laju propagasi *scouring* berkisar antara 0 m/s – 0,00147 m/s. Nilai 0 (nol) dikarenakan tidak terjadi *scouring*.
3. Dari hasil perbandingan *wave steepness* (H/gT^2), *KC number*, *burial depth to diameter ratio* (e/D), dan *shield parameter* (θ) terhadap kedalaman dan lebar *scouring* dapat ditarik kesimpulan bahwa :
 - Semakin besar nilai H (tinggi gelombang) maka semakin lebar dan dalam *scouring* yang terbentuk.
 - Nilai bilangan KC berbanding lurus dengan kedalaman dan lebar *scouring* yang terbentuk. Semakin besar KC maka semakin dalam dan semakin lebar *scouring* yang terjadi dibawah pipa.
 - e/D juga berbanding lurus dengan kedalaman dan lebar *scouring*. Semakin besar nilai e (gap antara pipa dengan dasar) maka semakin besar juga kedalaman dan lebar *scouring* yang terbentuk.

5.2 Saran

Dari eksperimen ini, saran dari penulis adalah:

1. Diperlukan kemajuan alat eksperimen baik itu untuk memvalidasi tinggi gelombang dan arus yang digunakan saat *running* eksperimen. Sehingga, hasil dari eksperimen akan tercatat sesuai hasil yang diharapkan.
2. Kemajuan teknologi untuk plotting kedalaman scouring juga diperlukan seperti penggaris digital atau laser meter sehingga tidak perlu dilakukan plotting manual di AutoCad.
3. Penelitian dengan pencatatan 3D lebih disarankan agar bisa mengetahui profil 3D dan panjang bentangan bebas dibawah pipa.

Daftar Pustaka

- Arif, Umar. 2017. **“Analisa Freespan Akibat Scouring Pipa Bawah Laut: Studi Kasus Dry Gas Pipeline dari HESS (Indonesia-Pangkajene) Ltd yang menghubungkan Wellhead Platform-A di perairan Madura menuju Gresik Onshore Processing Facility (OPF)”**. Tugas Akhir. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Fakultas Teknologi Kelautan
- Arya, Adarsh K. 2012. **“Scour-Mechanism, Detection dan Mitigation for Subsea Pipeline Integrity”**. **International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN : 2278-0181**. India. University of Petroleum and Energy Studies. Department of Chemical Engineering.
- Bijker, E. W., Leeuwestein, W. 1984. **“Interaction Between Pipelines and the Seabed Under the Influence of Waves and Currents”**. **Seabed Mechanics section 7 p. 235-242**.
- Cheng, L., Yeow, K., Zang, Z., Li, F. 2014. **“3D Scour Below Pipelines under Waves And Combined Waves And Currents.” Coastal Engineering. (83) : 137-149**.
- Coastal Engineering Manual (CEM). 2006. EM 1110-2-1100, Washington, DC.
- Rahayu, Dwi R. 2017. **“Studi Eksperimen Scouring Pada Pipa Akibat Gelombang Ireguler dengan Kondisi Meletak dan In-Trench”**. Tugas Akhir. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Fakultas Teknologi Kelautan.
- Guo, B., Song, S., Chacko, J., Ghalambor, A. 2005. **“Offshore Pipelines”**. **Elsevier Publisher p304**.
- Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi. 1997. **Keselamatan Kerja Pipa Penyalur Minyak dan Gas Bumi Nomor 300.K/38/M.PE/1997**. Menteri Pertambangan dan Energi. Republik Indonesia.

- Nugraha, M.C. 2012. **“Analisis Pengaruh Scouring pada Pipa Bawah Laut (Studi Kasus Pipa Gas Transmisi SSJW Jalur Pipa Gas Labuhan Maringai-Muara Bekasi)”**. Tugas Akhir. Surabaya. ITS – Fakultas Teknologi Kelautan.
- Ramadhan, Dhimas. 2017. **“Studi Eksperimen Scouring Pada Pipa Akibat Gelombang Ireguler Dengan Kondisi Meletak dan In-Trench”**. Tugas Akhir. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Departemen Teknik Kelautan.
- Sumer, B.M et al. 2000, **“Onset of Scour Below Pipelines and Self-Burial. Department of Hydrodynamics and Water Resources ISVA”**. Denmark. Technical University of Denmark.
- Sumer, B.M., dan Fredsøe, J. 2002. **“The Mechanics of Scour In The Marine Environment”**. Denmark. World Scientific.
- Sumer, B.M., dan Fredsøe, J., 1990. “Scour below Pipelines in Waves”. **Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering** 116, 307–323.
- Suntoyo. 2016. **“Applikasi Pemodelan Turbulent Boundary Layer untuk Pengembangan Model Scouring pada Marine Pipeline di Perairan Indonesia dan Penanggulangannya”**. Surabaya. Usulan PUPT ITS.
- Terzaghi, K. dan R.B. Peck. 1948. **“Soil Mechanics in Engineering Practice”**. New York : John Wiley & Sons.
- Yasa, R., 2011.” Prediction of the Scour Depth under Submarine Pipelines – in Wave Condition”. **Journal of Coastal Research, SI 64 (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium), 627-630**. Szczecin, Poland, ISSN 0749-0208.
- Zhou, C., Li, G., Dong, P., Shi, J., Xu, J. 2010. “An Experimental Study of Seabed Responses Around A Marine Pipeline Under Wave And Current Conditions.” **Ocean Engineering. (38) : 226-234**.

LAMPIRAN A

HASIL PENGOLAHAN DATA GELOMBANG DENGAN WAVAN

A.1 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi Meletak dengan $H_i = 5$ cm dan $T_i = 1$ s $V = 10$ cm/s

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename P2Vlmenit5.txt

Enter Number of Columns in Input File: 1

Enter Sampling Time, Delt: 0.04

Enter No. of Points (Multiple of 8): 7500

Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0

Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2

Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.6912 centimetres

Water Level Trend = -0.00060 cm/s

Sigma = 2.494 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 305

Average Wave Period = 0.9852 seconds

Significant Wave Height = 9.9540 centimetres

Maximum Wave Height = 19.1000 centimetres

Average Wave Height = 6.5291 centimetres

rms Wave Height = 7.2054 centimetres

Average of Highest 1/10 = 12.4710 centimetres

Sigmaz = 2.0015 centimetres

=====
=====

For the Raw Spectrum

fmin = 0.0033 Hz

Sigma = 2.4938 cm

S(p) = 88.9664 cm²/Hz

f(p) = 1.0167 Hz

T(p) = 0.9836 sec

Variance = 6.2192 cm²

Long Wave Variance = 0.0514 cm²

Short Wave Variance = 6.1677 cm²

Hmo = 9.98 cm

Long Wave Hmo = 0.91 cm

Short Wave Hmo = 9.93 cm

First Moment = 6.66182 centimetres

Second Moment = 9.08717 centimetres

Third Moment = 24.57738 centimetres

Fourth Moment = 154.20500 centimetres

Epsilon Squared = 0.91 centimetres

T(0,1) = 0.93 centimetres

T(0,2) = 0.83 centimetres

For the Spectrum with Defined Resolution

resolution = 0.0333 Hz

Sigma = 2.4935 cm

S(p) = 19.6517 cm²/Hz

f(p) = 0.9483 Hz

$$T(p) = 1.05 \text{ sec}$$

$$\text{Variance} = 6.2178 \text{ cm}^2$$

$$\text{Long Wave Variance} = 0.0486 \text{ cm}^2$$

$$\text{Short Wave Variance} = 6.1691 \text{ cm}^2$$

$$H_{mo} = 9.97 \text{ cm}$$

$$\text{Long Wave } H_{mo} = 0.88 \text{ cm}$$

$$\text{Short Wave } H_m = 9.94 \text{ cm}$$

$$\text{First Moment} = 6.65423 \text{ centimetres}$$

$$\text{Second Moment} = 9.07068 \text{ centimetres}$$

$$\text{Third Moment} = 24.52458 \text{ centimetres}$$

$$\text{Fourth Moment} = 153.76348 \text{ centimetres}$$

$$\text{Epsilon Squared} = 0.91 \text{ centimetres}$$

$$T(0,1) = 0.93 \text{ centimetres}$$

$$T(0,2) = 0.83 \text{ centimetres}$$

For the Average of 4 Spectra

$$f_{min} = 0.0133 \text{ Hz}$$

$$\text{Sigma} = 2.4938 \text{ cm}$$

$$S(p) = 31.3443 \text{ cm}^2/\text{Hz}$$

$$f(p) = 1.0000 \text{ Hz}$$

$$T(p) = 1.00 \text{ sec}$$

$$\text{Variance} = 6.2192 \text{ cm}^2$$

$$\text{Long Wave Variance} = 0.0620 \text{ cm}^2$$

$$\text{Short Wave Variance} = 6.1571 \text{ cm}^2$$

$$H_{mo} = 9.98 \text{ cm}$$

$$\text{Long Wave } H_{mo} = 1.00 \text{ cm}$$

$$\text{Short Wave } H_{mo} = 9.93 \text{ cm}$$

For the Average of 7 Spectra

fmin = 0.0133 Hz
Sigma = 2.4967 cm
S(p) = 29.2121 cm²/Hz
f(p) = 1.0000 Hz
T(p) = 1.00 sec

Variance = 6.2335 cm²
Long Wave Variance = 0.0576 cm²
Short Wave Variance = 6.1758 cm²
Hmo = 9.99 cm
Long Wave Hmo = 0.96 cm
Short Wave Hmo = 9.94 cm

>>

A.2 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi Meletak dengan $H_i = 5$ cm dan $T_i = 1$ s $V = 14$ cm/s

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename p2.txt
Enter Number of Columns in Input File: 1
Enter Sampling Time, Delt: 0.04
Enter No. of Points (Multiple of 8): 7500
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0
Remove Mean (1) or Trend (2)? : 2
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.1072 centimetres
Water Level Trend = -0.00030 cm/s
Sigma = 2.431 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 316
Average Wave Period = 0.9494 seconds
Significant Wave Height = 9.7014 centimetres
Maximum Wave Height = 15.4500 centimetres
Average Wave Height = 6.1329 centimetres
rms Wave Height = 6.8934 centimetres
Average of Highest 1/10 = 11.9818 centimetres
Sigmaz = 1.8904 centimetres

=====

For the Raw Spectrum

fmin = 0.0033 Hz
Sigma = 2.4306 cm
S(p) = 122.4828 cm²/Hz
f(p) = 0.9600 Hz
T(p) = 1.0417 sec

Variance = 5.9077 cm²

Long Wave Variance = 0.0454 cm²
Short Wave Variance = 5.8623 cm²

Hmo = 9.72 cm
Long Wave Hmo = 0.85 cm
Short Wave Hmo = 9.68 cm

First Moment = 6.28824 centimetres
Second Moment = 8.47368 centimetres
Third Moment = 22.70786 centimetres
Fourth Moment = 142.74396 centimetres
Epsilon Squared = 0.91 centimetres
T(0,1) = 0.94 centimetres
T(0,2) = 0.83 centimetres

For the Spectrum with Defined Resolution

resolution = 0.0333 Hz
Sigma = 2.4301 cm
S(p) = 25.9800 cm²/Hz
f(p) = 0.9483 Hz
T(p) = 1.05 sec

Variance = 5.9055 cm²
Long Wave Variance = 0.0432 cm²
Short Wave Variance = 5.8623 cm²

Hmo = 9.72 cm
Long Wave Hmo = 0.83 cm
Short Wave Hm = 9.68 cm

First Moment = 6.28399 centimetres
Second Moment = 8.46270 centimetres
Third Moment = 22.65862 centimetres

Fourth Moment	= 142.27413 centimetres
Epsilon Squared	= 0.91 centimetres
T(0,1)	= 0.94 centimetres
T(0,2)	= 0.84 centimetres

For the Average of 4 Spectra

fmin	= 0.0133 Hz
Sigma	= 2.4306 cm
S(p)	= 31.9849 cm ² /Hz
f(p)	= 0.9600 Hz
T(p)	= 1.04 sec

Variance	= 5.9077 cm ²
Long Wave Variance	= 0.0437 cm ²
Short Wave Variance	= 5.8639 cm ²

Hmo	= 9.72 cm
Long Wave Hmo	= 0.84 cm
Short Wave Hmo	= 9.69 cm

For the Average of 7 Spectra

fmin	= 0.0133 Hz
Sigma	= 2.4570 cm
S(p)	= 37.6143 cm ² /Hz
f(p)	= 0.9600 Hz
T(p)	= 1.04 sec

Variance	= 6.0367 cm ²
Long Wave Variance	= 0.0499 cm ²
Short Wave Variance	= 5.9868 cm ²

```
Hmo                      = 9.83 cm
Long Wave Hmo           = 0.89 cm
Short Wave Hmo          = 9.79 cm
>>
```

A.3 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi Meletak dengan $H_i = 6$ cm dan $T_i = 1$ s $V = 10$ cm/s

```
>> wavan
```

```
Program WAVAN
```

```
Wave Analysis
```

```
INPUT
```

```
enter input filename  p2.txt
Enter Number of Columns in Input File:  1
Enter Sampling Time, Delt:  0.04
Enter No. of Points (Multiple of 8):    7500
Do you want plots? - Yes=1, No=0:  0
Remove Mean (1) or Trend (2)?:  2
Enter Desired Resolution, M:  10
```

```
Enter Number of Bins for Histogram: 5
```

```
Basic Output
```

```
Mean Water Level        = -0.1413 centimetres
Water Level Trend       = -0.00101 cm/s
Sigma                   = 2.761 centimetres
```

```
Wave Statistics
```

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 304
Average Wave Period = 0.9868 seconds
Significant Wave Height = 10.9843 centimetres
Maximum Wave Height = 16.4001 centimetres
Average Wave Height = 7.1577 centimetres
rms Wave Height = 7.9263 centimetres
Average of Highest 1/10 = 13.1500 centimetres
Sigmaz = 2.2868 centimetres

=====

For the Raw Spectrum

fmin = 0.0033 Hz
Sigma = 2.7607 cm
S(p) = 127.3688 cm²/Hz
f(p) = 0.9967 Hz
T(p) = 1.0033 sec

Variance = 7.6213 cm²
Long Wave Variance = 0.0750 cm²
Short Wave Variance = 7.5462 cm²

Hmo = 11.04 cm
Long Wave Hmo = 1.10 cm
Short Wave Hmo = 10.99 cm

First Moment = 7.98732 centimetres
Second Moment = 11.21830 centimetres
Third Moment = 35.19005 centimetres
Fourth Moment = 249.44943 centimetres
Epsilon Squared = 0.93 centimetres
T(0,1) = 0.95 centimetres
T(0,2) = 0.82 centimetres

For the Spectrum with Defined Resolution

resolution = 0.0333 Hz
Sigma = 2.7599 cm
S(p) = 27.2429 cm²/Hz
f(p) = 0.9483 Hz
T(p) = 1.05 sec

Variance = 7.6172 cm²
Long Wave Variance = 0.0702 cm²
Short Wave Variance = 7.5470 cm²

Hmo = 11.04 cm
Long Wave Hmo = 1.06 cm
Short Wave Hm = 10.99 cm

First Moment = 7.98063 centimetres
Second Moment = 11.20002 centimetres
Third Moment = 35.08664 centimetres
Fourth Moment = 248.32119 centimetres
Epsilon Squared = 0.93 centimetres
T(0,1) = 0.95 centimetres
T(0,2) = 0.82 centimetres

For the Average of 4 Spectra

fmin = 0.0133 Hz
Sigma = 2.7607 cm
S(p) = 51.7049 cm²/Hz
f(p) = 1.0000 Hz
T(p) = 1.00 sec

Variance = 7.6212 cm²
Long Wave Variance = 0.0741 cm²
Short Wave Variance = 7.5471 cm²

Hmo = 11.04 cm
Long Wave Hmo = 1.09 cm
Short Wave Hmo = 10.99 cm

For the Average of 7 Spectra

fmin = 0.0133 Hz
Sigma = 2.7657 cm
S(p) = 39.1953 cm²/Hz
f(p) = 0.9467 Hz
T(p) = 1.06 sec

Variance = 7.6492 cm²
Long Wave Variance = 0.0701 cm²
Short Wave Variance = 7.5790 cm²

Hmo = 11.06 cm
Long Wave Hmo = 1.06 cm
Short Wave Hmo = 11.01 cm

>>

A.4 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi Meletak dengan $H_i = 6$ cm dan $T_i = 1$ s $V = 14$ cm/s

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename p2.txt
Enter Number of Columns in Input File: 1
Enter Sampling Time, Delt: 0.04
Enter No. of Points (Multiple of 8): 7500
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.1187 centimetres
Water Level Trend = -0.00020 cm/s
Sigma = 2.792 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 300
Average Wave Period = 1.0017 seconds
Significant Wave Height = 11.2401 centimetres
Maximum Wave Height = 18.3500 centimetres
Average Wave Height = 7.3277 centimetres
rms Wave Height = 8.1128 centimetres
Average of Highest 1/10 = 13.9355 centimetres
Sigmaz = 2.2463 centimetres

For the Raw Spectrum

fmin = 0.0033 Hz

Sigma = 2.7919 cm
 S(p) = 107.6595 cm²/Hz
 f(p) = 0.9800 Hz
 T(p) = 1.0204 sec

Variance = 7.7948 cm²
 Long Wave Variance = 0.0757 cm²
 Short Wave Variance = 7.7191 cm²

Hmo = 11.17 cm
 Long Wave Hmo = 1.10 cm
 Short Wave Hmo = 11.11 cm

First Moment = 8.14875 centimetres
 Second Moment = 10.87684 centimetres
 Third Moment = 29.16874 centimetres
 Fourth Moment = 183.04125 centimetres
 Epsilon Squared = 0.92 centimetres
 T(0,1) = 0.96 centimetres
 T(0,2) = 0.85 centimetres

For the Spectrum with Defined Resolution

resolution = 0.0333 Hz
 Sigma = 2.7914 cm
 S(p) = 27.6963 cm²/Hz
 f(p) = 0.9817 Hz
 T(p) = 1.02 sec

Variance = 7.7918 cm²
 Long Wave Variance = 0.0721 cm²
 Short Wave Variance = 7.7197 cm²

Hmo = 11.17 cm

Long Wave Hmo = 1.07 cm
Short Wave Hm = 11.11 cm

First Moment = 8.14197 centimetres
Second Moment = 10.86077 centimetres
Third Moment = 29.08931 centimetres
Fourth Moment = 182.19218 centimetres
Epsilon Squared = 0.92 centimetres
T(0,1) = 0.96 centimetres
T(0,2) = 0.85 centimetres

For the Average of 4 Spectra

fmin = 0.0133 Hz
Sigma = 2.7919 cm
S(p) = 32.5299 cm²/Hz
f(p) = 0.9600 Hz
T(p) = 1.04 sec

Variance = 7.7948 cm²
Long Wave Variance = 0.0754 cm²
Short Wave Variance = 7.7193 cm²

Hmo = 11.17 cm
Long Wave Hmo = 1.10 cm
Short Wave Hmo = 11.11 cm

For the Average of 7 Spectra

fmin = 0.0133 Hz
Sigma = 2.7856 cm
S(p) = 37.2775 cm²/Hz
f(p) = 0.9600 Hz

T(p) = 1.04 sec

Variance = 7.7594 cm²

Long Wave Variance = 0.0793 cm²

Short Wave Variance = 7.6801 cm²

Hmo = 11.14 cm

Long Wave Hmo = 1.13 cm

Short Wave Hmo = 11.09 cm

Error using save

'/ascii' is not a valid variable name.

Error in wavan (line 843)

save STATSU STATSD STATSA A B C D E /ascii;

>>

A.5 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* 2 mm

dengan $H_i = 5$ cm dan $T_i = 1$ s $V = 10$ cm/s

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename p22.txt

Enter Number of Columns in Input File: 1

Enter Sampling Time, Delt: 0.04

Enter No. of Points (Multiple of 8): 7500

Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0

Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2

Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.3058 centimetres
Water Level Trend = -0.00077 cm/s
Sigma = 2.551 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 332
Average Wave Period = 0.9036 seconds
Significant Wave Height = 10.1121 centimetres
Maximum Wave Height = 14.8000 centimetres
Average Wave Height = 6.4101 centimetres
rms Wave Height = 7.1595 centimetres
Average of Highest 1/10 = 12.4794 centimetres
Sigmaz = 1.9516 centimetres

For the Raw Spectrum

fmin = 0.0033 Hz
Sigma = 2.5514 cm
S(p) = 135.8137 cm²/Hz
f(p) = 0.9600 Hz
T(p) = 1.0417 sec

Variance = 6.5098 cm²
Long Wave Variance = 0.0462 cm²

Short Wave Variance = 6.4635 cm²

Hmo = 10.21 cm

Long Wave Hmo = 0.86 cm

Short Wave Hmo = 10.17 cm

First Moment = 7.19360 centimetres

Second Moment = 10.81304 centimetres

Third Moment = 35.18017 centimetres

Fourth Moment = 245.24857 centimetres

Epsilon Squared = 0.93 centimetres

T(0,1) = 0.90 centimetres

T(0,2) = 0.78 centimetres

For the Spectrum with Defined Resolution

resolution = 0.0333 Hz

Sigma = 2.5509 cm

S(p) = 27.5567 cm²/Hz

f(p) = 0.9483 Hz

T(p) = 1.05 sec

Variance = 6.5069 cm²

Long Wave Variance = 0.0434 cm²

Short Wave Variance = 6.4635 cm²

Hmo = 10.20 cm

Long Wave Hmo = 0.83 cm

Short Wave Hm = 10.17 cm

First Moment = 7.18366 centimetres

Second Moment = 10.78573 centimetres

Third Moment = 35.04166 centimetres

Fourth Moment = 243.82793 centimetres

Epsilon Squared	=	0.93 centimetres
T(0,1)	=	0.91 centimetres
T(0,2)	=	0.78 centimetres

For the Average of 4 Spectra

fmin	=	0.0133 Hz
Sigma	=	2.5514 cm
S(p)	=	41.8278 cm ² /Hz
f(p)	=	0.9600 Hz
T(p)	=	1.04 sec

Variance	=	6.5098 cm ²
Long Wave Variance	=	0.0524 cm ²
Short Wave Variance	=	6.4573 cm ²

Hmo	=	10.21 cm
Long Wave Hmo	=	0.92 cm
Short Wave Hmo	=	10.16 cm

For the Average of 7 Spectra

fmin	=	0.0133 Hz
Sigma	=	2.5496 cm
S(p)	=	41.5802 cm ² /Hz
f(p)	=	0.9600 Hz
T(p)	=	1.04 sec

Variance	=	6.5005 cm ²
Long Wave Variance	=	0.0519 cm ²
Short Wave Variance	=	6.4486 cm ²

Hmo	=	10.20 cm
-----	---	----------

```

Long Wave Hmo      = 0.91 cm
Short Wave Hmo     = 10.16 cm
Error using save
'/'ascii' is not a valid variable name.

```

```

Error in wavan (line 843)
    save STATSU STATSD STATSA A B C D E /ascii;

```

```
>>
```

A.6 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* 2 mm dengan $H_i = 5$ cm dan $T_i = 1$ s $V = 14$ cm/s

```
>> wavan
```

```

Program WAVAN

```

```

Wave Analysis

```

```
INPUT
```

```

enter input filename  p2.txt
Enter Number of Columns in Input File:  1
Enter Sampling Time, Delt:  0.04
Enter No. of Points (Multiple of 8):  7500
Do you want plots? - Yes=1, No=0:  0
Remove Mean (1) or Trend (2)?:  2
Enter Desired Resolution, M:  10

```

```
Enter Number of Bins for Histogram: 5
```

```
Basic Output
```

```
Mean Water Level      = -0.3179 centimetres
```

Water Level Trend = 0.00005 cm/s
Sigma = 2.487 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 329
Average Wave Period = 0.9132 seconds
Significant Wave Height = 10.0074 centimetres
Maximum Wave Height = 16.2000 centimetres
Average Wave Height = 6.1899 centimetres
rms Wave Height = 7.0146 centimetres
Average of Highest 1/10 = 12.6382 centimetres
Sigma_z = 1.9100 centimetres

For the Raw Spectrum

f_{min} = 0.0033 Hz
Sigma = 2.4867 cm
S(p) = 102.9880 cm²/Hz
f(p) = 0.9600 Hz
T(p) = 1.0417 sec

Variance = 6.1835 cm²
Long Wave Variance = 0.0642 cm²
Short Wave Variance = 6.1193 cm²

H_{mo} = 9.95 cm
Long Wave H_{mo} = 1.01 cm
Short Wave H_{mo} = 9.89 cm

First Moment = 6.78300 centimetres
Second Moment = 10.22237 centimetres

Third Moment	= 33.74111 centimetres
Fourth Moment	= 238.24057 centimetres
Epsilon Squared	= 0.93 centimetres
T(0,1)	= 0.91 centimetres
T(0,2)	= 0.78 centimetres

For the Spectrum with Defined Resolution

resolution	= 0.0333 Hz
Sigma	= 2.4860 cm
S(p)	= 21.3875 cm ² /Hz
f(p)	= 0.9483 Hz
T(p)	= 1.05 sec

Variance	= 6.1801 cm ²
Long Wave Variance	= 0.0609 cm ²
Short Wave Variance	= 6.1192 cm ²

Hmo	= 9.94 cm
Long Wave Hmo	= 0.99 cm
Short Wave Hm	= 9.89 cm

First Moment	= 6.77674 centimetres
Second Moment	= 10.20554 centimetres
Third Moment	= 33.63245 centimetres
Fourth Moment	= 236.99029 centimetres
Epsilon Squared	= 0.93 centimetres
T(0,1)	= 0.91 centimetres
T(0,2)	= 0.78 centimetres

For the Average of 4 Spectra

fmin	= 0.0133 Hz
------	-------------

σ = 2.4867 cm
 $S(p)$ = 36.6153 cm²/Hz
 $f(p)$ = 0.9600 Hz
 $T(p)$ = 1.04 sec

Variance = 6.1835 cm²
 Long Wave Variance = 0.0642 cm²
 Short Wave Variance = 6.1193 cm²

H_{mo} = 9.95 cm
 Long Wave H_{mo} = 1.01 cm
 Short Wave H_{mo} = 9.89 cm

For the Average of 7 Spectra

f_{min} = 0.0133 Hz
 σ = 2.4979 cm
 $S(p)$ = 34.9228 cm²/Hz
 $f(p)$ = 0.9600 Hz
 $T(p)$ = 1.04 sec

Variance = 6.2397 cm²
 Long Wave Variance = 0.0670 cm²
 Short Wave Variance = 6.1726 cm²

H_{mo} = 9.99 cm
 Long Wave H_{mo} = 1.04 cm
 Short Wave H_{mo} = 9.94 cm

>>

A.7 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* 2 mm dengan $H_i = 6$ cm dan $T_i = 1$ s $V = 10$ cm/s

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename p2.txt

Enter Number of Columns in Input File: 1

Enter Sampling Time, Delt: 0.04

Enter No. of Points (Multiple of 8): 7500

Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0

Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2

Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = -0.6253 centimetres

Water Level Trend = -0.00009 cm/s

Sigma = 2.748 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 311

Average Wave Period = 0.9646 seconds

Significant Wave Height = 10.9257 centimetres

Maximum Wave Height = 16.6000 centimetres

Average Wave Height = 7.0994 centimetres
 rms Wave Height = 7.8517 centimetres
 Average of Highest 1/10 = 13.0953 centimetres
 Sigma_z = 2.1875 centimetres

For the Raw Spectrum

f_{min} = 0.0033 Hz
 Sigma = 2.7481 cm
 S(p) = 154.7413 cm²/Hz
 f(p) = 0.9267 Hz
 T(p) = 1.0791 sec

Variance = 7.5520 cm²
 Long Wave Variance = 0.0672 cm²
 Short Wave Variance = 7.4847 cm²

H_{mo} = 10.99 cm
 Long Wave H_{mo} = 1.04 cm
 Short Wave H_{mo} = 10.94 cm

First Moment = 8.02329 centimetres
 Second Moment = 11.63556 centimetres
 Third Moment = 37.53145 centimetres
 Fourth Moment = 265.36547 centimetres
 Epsilon Squared = 0.93 centimetres
 T(0,1) = 0.94 centimetres
 T(0,2) = 0.81 centimetres

For the Spectrum with Defined Resolution

resolution = 0.0333 Hz
 Sigma = 2.7477 cm

$S(p)$ = 26.5787 cm²/Hz
 $f(p)$ = 0.9150 Hz
 $T(p)$ = 1.09 sec

Variance = 7.5500 cm²
 Long Wave Variance = 0.0639 cm²
 Short Wave Variance = 7.4862 cm²

H_{mo} = 10.99 cm
 Long Wave H_{mo} = 1.01 cm
 Short Wave H_m = 10.94 cm

First Moment = 8.01442 centimetres
 Second Moment = 11.60659 centimetres
 Third Moment = 37.30973 centimetres
 Fourth Moment = 262.77234 centimetres
 Epsilon Squared = 0.93 centimetres
 $T(0,1)$ = 0.94 centimetres
 $T(0,2)$ = 0.81 centimetres

For the Average of 4 Spectra

f_{min} = 0.0133 Hz
 σ = 2.7481 cm
 $S(p)$ = 37.3027 cm²/Hz
 $f(p)$ = 0.9467 Hz
 $T(p)$ = 1.06 sec

Variance = 7.5519 cm²
 Long Wave Variance = 0.0717 cm²
 Short Wave Variance = 7.4802 cm²

H_{mo} = 10.99 cm
 Long Wave H_{mo} = 1.07 cm

Short Wave Hmo = 10.94 cm

For the Average of 7 Spectra

fmin = 0.0133 Hz

Sigma = 2.7339 cm

S(p) = 34.0121 cm²/Hz

f(p) = 0.9467 Hz

T(p) = 1.06 sec

Variance = 7.4740 cm²

Long Wave Variance = 0.0698 cm²

Short Wave Variance = 7.4042 cm²

Hmo = 10.94 cm

Long Wave Hmo = 1.06 cm

Short Wave Hmo = 10.88 cm

>>

A.8 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* 2 mm dengan $H_i = 6$ cm dan $T_i = 1$ s $V = 14$ cm/s

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename P2V1menit5.txt

Enter Number of Columns in Input File: 1

Enter Sampling Time, Delt: 0.04

Enter No. of Points (Multiple of 8): 7500

Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0

Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2

Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.6912 centimetres
Water Level Trend = -0.00060 cm/s
Sigma = 2.494 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 305
Average Wave Period = 0.9852 seconds
Significant Wave Height = 9.9540 centimetres
Maximum Wave Height = 19.1000 centimetres
Average Wave Height = 6.5291 centimetres
rms Wave Height = 7.2054 centimetres
Average of Highest 1/10 = 12.4710 centimetres
Sigmaz = 2.0015 centimetres

=====

For the Raw Spectrum

fmin = 0.0033 Hz
Sigma = 2.4938 cm
S(p) = 88.9664 cm²/Hz
f(p) = 1.0167 Hz
T(p) = 0.9836 sec

Variance = 6.2192 cm²
Long Wave Variance = 0.0514 cm²
Short Wave Variance = 6.1677 cm²

Hmo = 9.98 cm
 Long Wave Hmo = 0.91 cm
 Short Wave Hmo = 9.93 cm

First Moment = 6.66182 centimetres
 Second Moment = 9.08717 centimetres
 Third Moment = 24.57738 centimetres
 Fourth Moment = 154.20500 centimetres
 Epsilon Squared = 0.91 centimetres
 T(0,1) = 0.93 centimetres
 T(0,2) = 0.83 centimetres

For the Spectrum with Defined Resolution

resolution = 0.0333 Hz
 Sigma = 2.4935 cm
 S(p) = 19.6517 cm²/Hz
 f(p) = 0.9483 Hz
 T(p) = 1.05 sec

Variance = 6.2178 cm²
 Long Wave Variance = 0.0486 cm²
 Short Wave Variance = 6.1691 cm²

Hmo = 9.97 cm
 Long Wave Hmo = 0.88 cm
 Short Wave Hm = 9.94 cm

First Moment = 6.65423 centimetres
 Second Moment = 9.07068 centimetres
 Third Moment = 24.52458 centimetres
 Fourth Moment = 153.76348 centimetres
 Epsilon Squared = 0.91 centimetres
 T(0,1) = 0.93 centimetres

T(0,2) = 0.83 centimetres

For the Average of 4 Spectra

fmin = 0.0133 Hz
Sigma = 2.4938 cm
S(p) = 31.3443 cm²/Hz
f(p) = 1.0000 Hz
T(p) = 1.00 sec

Variance = 6.2192 cm²
Long Wave Variance = 0.0620 cm²
Short Wave Variance = 6.1571 cm²

Hmo = 9.98 cm
Long Wave Hmo = 1.00 cm
Short Wave Hmo = 9.93 cm

For the Average of 7 Spectra

fmin = 0.0133 Hz
Sigma = 2.4967 cm
S(p) = 29.2121 cm²/Hz
f(p) = 1.0000 Hz
T(p) = 1.00 sec

Variance = 6.2335 cm²
Long Wave Variance = 0.0576 cm²
Short Wave Variance = 6.1758 cm²

Hmo = 9.99 cm
Long Wave Hmo = 0.96 cm
Short Wave Hmo = 9.94 cm

>>

A.9 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* 4 mm dengan $H_i = 5$ cm dan $T_i = 1$ s $V = 10$ cm/s

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename p2.txt

Enter Number of Columns in Input File: 1

Enter Sampling Time, Delt: 0.04

Enter No. of Points (Multiple of 8): 7500

Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0

Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2

Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 1.3140 centimetres

Water Level Trend = 0.00010 cm/s

Sigma = 2.514 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves	=	317
Average Wave Period	=	0.9464 seconds
Significant Wave Height	=	9.9009 centimetres
Maximum Wave Height	=	15.9000 centimetres
Average Wave Height	=	6.5014 centimetres
rms Wave Height	=	7.1626 centimetres
Average of Highest 1/10	=	12.2955 centimetres
Sigmaz	=	1.9588 centimetres

For the Raw Spectrum

fmin	=	0.0033 Hz
Sigma	=	2.5144 cm
S(p)	=	91.4551 cm ² /Hz
f(p)	=	0.9600 Hz
T(p)	=	1.0417 sec

Variance	=	6.3221 cm ²
Long Wave Variance	=	0.0529 cm ²
Short Wave Variance	=	6.2692 cm ²

Hmo	=	10.06 cm
Long Wave Hmo	=	0.92 cm
Short Wave Hmo	=	10.02 cm

First Moment	=	6.92160 centimetres
Second Moment	=	10.28822 centimetres
Third Moment	=	33.38622 centimetres
Fourth Moment	=	233.62511 centimetres
Epsilon Squared	=	0.93 centimetres
T(0,1)	=	0.91 centimetres
T(0,2)	=	0.78 centimetres

For the Spectrum with Defined Resolution

resolution = 0.0333 Hz
 Sigma = 2.5137 cm
 S(p) = 20.5516 cm²/Hz
 f(p) = 0.9483 Hz
 T(p) = 1.05 sec

Variance = 6.3189 cm²
 Long Wave Variance = 0.0496 cm²
 Short Wave Variance = 6.2693 cm²

Hmo = 10.05 cm
 Long Wave Hmo = 0.89 cm
 Short Wave Hm = 10.02 cm

First Moment = 6.91412 centimetres
 Second Moment = 10.25962 centimetres
 Third Moment = 33.15122 centimetres
 Fourth Moment = 230.85447 centimetres
 Epsilon Squared = 0.93 centimetres
 T(0,1) = 0.91 centimetres
 T(0,2) = 0.78 centimetres

For the Average of 4 Spectra

fmin = 0.0133 Hz
 Sigma = 2.5144 cm
 S(p) = 36.9368 cm²/Hz
 f(p) = 0.9600 Hz
 T(p) = 1.04 sec

Variance = 6.3221 cm²
 Long Wave Variance = 0.0547 cm²
 Short Wave Variance = 6.2673 cm²

Hmo = 10.06 cm
 Long Wave Hmo = 0.94 cm
 Short Wave Hmo = 10.01 cm

For the Average of 7 Spectra

fmin = 0.0133 Hz
 Sigma = 2.5228 cm
 S(p) = 36.9044 cm²/Hz
 f(p) = 0.9600 Hz
 T(p) = 1.04 sec

Variance = 6.3647 cm²
 Long Wave Variance = 0.0572 cm²
 Short Wave Variance = 6.3074 cm²

Hmo = 10.09 cm
 Long Wave Hmo = 0.96 cm
 Short Wave Hmo = 10.05 cm

>>

A.10 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* 4 mm dengan $H_i = 5$ cm dan $T_i = 1$ s $V = 14$ cm/s

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename p2.txt

Enter Number of Columns in Input File: 1

Enter Sampling Time, Delt: 0.04
Enter No. of Points (Multiple of 8): 7500
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2
Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = -0.3179 centimetres
Water Level Trend = 0.00005 cm/s
Sigma = 2.487 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 329
Average Wave Period = 0.9132 seconds
Significant Wave Height = 10.0074 centimetres
Maximum Wave Height = 16.2000 centimetres
Average Wave Height = 6.1899 centimetres
rms Wave Height = 7.0146 centimetres
Average of Highest 1/10 = 12.6382 centimetres
Sigmaz = 1.9100 centimetres

For the Raw Spectrum

fmin = 0.0033 Hz
Sigma = 2.4867 cm
S(p) = 102.9880 cm²/Hz

f(p) = 0.9600 Hz
T(p) = 1.0417 sec

Variance = 6.1835 cm²
Long Wave Variance = 0.0642 cm²
Short Wave Variance = 6.1193 cm²

Hmo = 9.95 cm
Long Wave Hmo = 1.01 cm
Short Wave Hmo = 9.89 cm

First Moment = 6.78300 centimetres
Second Moment = 10.22237 centimetres
Third Moment = 33.74111 centimetres
Fourth Moment = 238.24057 centimetres
Epsilon Squared = 0.93 centimetres
T(0,1) = 0.91 centimetres
T(0,2) = 0.78 centimetres

For the Spectrum with Defined Resolution

resolution = 0.0333 Hz
Sigma = 2.4860 cm
S(p) = 21.3875 cm²/Hz
f(p) = 0.9483 Hz
T(p) = 1.05 sec

Variance = 6.1801 cm²
Long Wave Variance = 0.0609 cm²
Short Wave Variance = 6.1192 cm²

Hmo = 9.94 cm
Long Wave Hmo = 0.99 cm
Short Wave Hm = 9.89 cm

First Moment	=	6.77674 centimetres
Second Moment	=	10.20554 centimetres
Third Moment	=	33.63245 centimetres
Fourth Moment	=	236.99029 centimetres
Epsilon Squared	=	0.93 centimetres
T(0,1)	=	0.91 centimetres
T(0,2)	=	0.78 centimetres

For the Average of 4 Spectra

fmin	=	0.0133 Hz
Sigma	=	2.4867 cm
S(p)	=	36.6153 cm ² /Hz
f(p)	=	0.9600 Hz
T(p)	=	1.04 sec

Variance	=	6.1835 cm ²
Long Wave Variance	=	0.0642 cm ²
Short Wave Variance	=	6.1193 cm ²

Hmo	=	9.95 cm
Long Wave Hmo	=	1.01 cm
Short Wave Hmo	=	9.89 cm

For the Average of 7 Spectra

fmin	=	0.0133 Hz
Sigma	=	2.4979 cm
S(p)	=	34.9228 cm ² /Hz
f(p)	=	0.9600 Hz
T(p)	=	1.04 sec

```
Variance = 6.2397 cm2
Long Wave Variance = 0.0670 cm2
Short Wave Variance = 6.1726 cm2
```

```
Hmo = 9.99 cm
Long Wave Hmo = 1.04 cm
Short Wave Hmo = 9.94 cm
Error using save
```

```
>>
```

A.11 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* 4 mm dengan $H_i = 6$ cm dan $T_i = 1$ s $V = 10$ cm/s

```
>> wavan
```

```
Program WAVAN
```

```
Wave Analysis
```

```
INPUT
```

```
enter input filename P2Vlmenit5.txt
```

```
Enter Number of Columns in Input File: 1
```

```
Enter Sampling Time, Delt: 0.04
```

```
Enter No. of Points (Multiple of 8): 7500
```

```
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0
```

```
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2
```

```
Enter Desired Resolution, M: 10
```

```
Enter Number of Bins for Histogram: 5
```

```
Basic Output
```

```
Mean Water Level = 0.6912 centimetres
```

```
Water Level Trend = -0.00060 cm/s
```

```
Sigma = 2.494 centimetres
```


Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 305
Average Wave Period = 0.9852 seconds
Significant Wave Height = 9.9540 centimetres
Maximum Wave Height = 19.1000 centimetres
Average Wave Height = 6.5291 centimetres
rms Wave Height = 7.2054 centimetres
Average of Highest 1/10 = 12.4710 centimetres
Sigmaz = 2.0015 centimetres

=====

For the Raw Spectrum

fmin = 0.0033 Hz
Sigma = 2.4938 cm
S(p) = 88.9664 cm²/Hz
f(p) = 1.0167 Hz
T(p) = 0.9836 sec

Variance = 6.2192 cm²
Long Wave Variance = 0.0514 cm²
Short Wave Variance = 6.1677 cm²

Hmo = 9.98 cm
Long Wave Hmo = 0.91 cm
Short Wave Hmo = 9.93 cm

First Moment = 6.66182 centimetres
Second Moment = 9.08717 centimetres
Third Moment = 24.57738 centimetres
Fourth Moment = 154.20500 centimetres
Epsilon Squared = 0.91 centimetres

$T(0,1)$ = 0.93 centimetres
 $T(0,2)$ = 0.83 centimetres

For the Spectrum with Defined Resolution

resolution = 0.0333 Hz
 Sigma = 2.4935 cm
 $S(p)$ = 19.6517 cm²/Hz
 $f(p)$ = 0.9483 Hz
 $T(p)$ = 1.05 sec

Variance = 6.2178 cm²
 Long Wave Variance = 0.0486 cm²
 Short Wave Variance = 6.1691 cm²

Hmo = 9.97 cm
 Long Wave Hmo = 0.88 cm
 Short Wave Hm = 9.94 cm

First Moment = 6.65423 centimetres
 Second Moment = 9.07068 centimetres
 Third Moment = 24.52458 centimetres
 Fourth Moment = 153.76348 centimetres
 Epsilon Squared = 0.91 centimetres
 $T(0,1)$ = 0.93 centimetres
 $T(0,2)$ = 0.83 centimetres

For the Average of 4 Spectra

fmin = 0.0133 Hz
 Sigma = 2.4938 cm
 $S(p)$ = 31.3443 cm²/Hz
 $f(p)$ = 1.0000 Hz

T(p) = 1.00 sec

Variance = 6.2192 cm²

Long Wave Variance = 0.0620 cm²

Short Wave Variance = 6.1571 cm²

Hmo = 9.98 cm

Long Wave Hmo = 1.00 cm

Short Wave Hmo = 9.93 cm

For the Average of 7 Spectra

fmin = 0.0133 Hz

Sigma = 2.4967 cm

S(p) = 29.2121 cm²/Hz

f(p) = 1.0000 Hz

T(p) = 1.00 sec

Variance = 6.2335 cm²

Long Wave Variance = 0.0576 cm²

Short Wave Variance = 6.1758 cm²

Hmo = 9.99 cm

Long Wave Hmo = 0.96 cm

Short Wave Hmo = 9.94 cm

>>

A.12 Hasil Pengolahan Gelombang pada Pipa Kondisi *In-Trench* 4 mm dengan $H_i = 6$ cm dan $T_i = 1$ s $V = 14$ cm/s

>> wavan

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename P2Vlmenit5.txt

Enter Number of Columns in Input File: 1
 Enter Sampling Time, Delt: 0.04
 Enter No. of Points (Multiple of 8): 7500
 Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0
 Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2
 Enter Desired Resolution, M: 10

Enter Number of Bins for Histogram: 5

Basic Output

Mean Water Level = 0.6912 centimetres
 Water Level Trend = -0.00060 cm/s
 Sigma = 2.494 centimetres

Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 3

Number of Waves = 305
 Average Wave Period = 0.9852 seconds
 Significant Wave Height = 9.9540 centimetres
 Maximum Wave Height = 19.1000 centimetres
 Average Wave Height = 6.5291 centimetres
 rms Wave Height = 7.2054 centimetres
 Average of Highest 1/10 = 12.4710 centimetres
 Sigmaz = 2.0015 centimetres

=====

For the Raw Spectrum

fmin = 0.0033 Hz
 Sigma = 2.4938 cm
 S(p) = 88.9664 cm²/Hz

f(p) = 1.0167 Hz
T(p) = 0.9836 sec

Variance = 6.2192 cm²
Long Wave Variance = 0.0514 cm²
Short Wave Variance = 6.1677 cm²

Hmo = 9.98 cm
Long Wave Hmo = 0.91 cm
Short Wave Hmo = 9.93 cm

First Moment = 6.66182 centimetres
Second Moment = 9.08717 centimetres
Third Moment = 24.57738 centimetres
Fourth Moment = 154.20500 centimetres
Epsilon Squared = 0.91 centimetres
T(0,1) = 0.93 centimetres
T(0,2) = 0.83 centimetres

For the Spectrum with Defined Resolution

resolution = 0.0333 Hz
Sigma = 2.4935 cm
S(p) = 19.6517 cm²/Hz
f(p) = 0.9483 Hz
T(p) = 1.05 sec

Variance = 6.2178 cm²
Long Wave Variance = 0.0486 cm²
Short Wave Variance = 6.1691 cm²

Hmo = 9.97 cm
Long Wave Hmo = 0.88 cm
Short Wave Hm = 9.94 cm

First Moment	=	6.65423 centimetres
Second Moment	=	9.07068 centimetres
Third Moment	=	24.52458 centimetres
Fourth Moment	=	153.76348 centimetres
Epsilon Squared	=	0.91 centimetres
T(0,1)	=	0.93 centimetres
T(0,2)	=	0.83 centimetres

For the Average of 4 Spectra

fmin	=	0.0133 Hz
Sigma	=	2.4938 cm
S(p)	=	31.3443 cm ² /Hz
f(p)	=	1.0000 Hz
T(p)	=	1.00 sec

Variance	=	6.2192 cm ²
Long Wave Variance	=	0.0620 cm ²
Short Wave Variance	=	6.1571 cm ²

Hmo	=	9.98 cm
Long Wave Hmo	=	1.00 cm
Short Wave Hmo	=	9.93 cm

For the Average of 7 Spectra

fmin	=	0.0133 Hz
Sigma	=	2.4967 cm
S(p)	=	29.2121 cm ² /Hz
f(p)	=	1.0000 Hz
T(p)	=	1.00 sec

Variance = 6.2335 cm2
Long Wave Variance = 0.0576 cm2
Short Wave Variance = 6.1758 cm2
Hmo = 9.99 cm
Long Wave Hmo = 0.96 cm
Short Wave Hmo = 9.94 cm
>>

LAMPIRAN B

FOTO HASIL EKSPERIMEN TIAP 5 MENIT

B.1 Pipa Kondisi Meletak dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 5,8533 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0.972 \text{ s}$



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



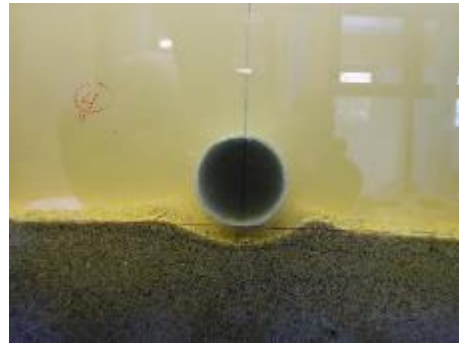
(f)

Gambar 1. Pengamatan *scouring* pipa kondisi meletak dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 5,8533 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0.972 \text{ s}$, (a) $t = 0$ menit, (b) $t = 5$ menit, (c) $t = 10$ menit, (d) $t = 15$ menit, (e) $t = 20$ menit, (f) $t = 25$ menit.

B.3 Pipa Kondisi Meletak dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 6,7867 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0.70933 \text{ s}$



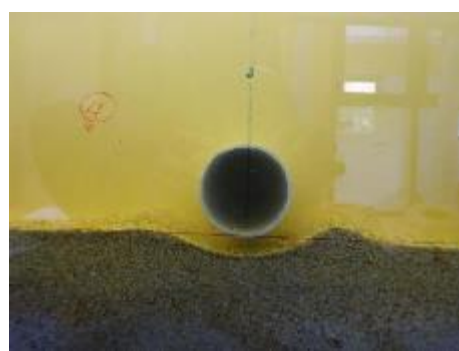
(a)



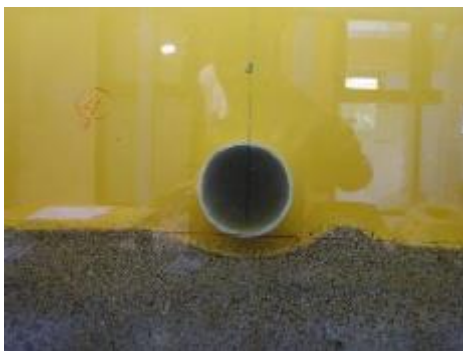
(b)



(c)



(d)



(e)



(e)

Gambar 3. Pengamatan *scouring* pipa kondisi meletak dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 6,7867 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0.70933 \text{ s}$, (b) $t = 5$ menit, (c) $t = 10$ menit, (d) $t = 15$ menit, (e) $t = 20$ menit, (f) $t = 25$ menit.

B.4 Pipa Kondisi Meletak $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 6,667 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0.701 \text{ s}$



(a)



(b)



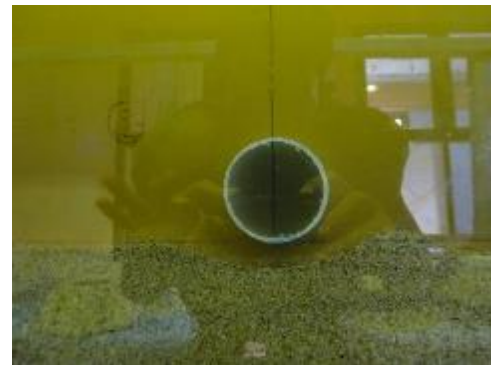
(c)



(d)



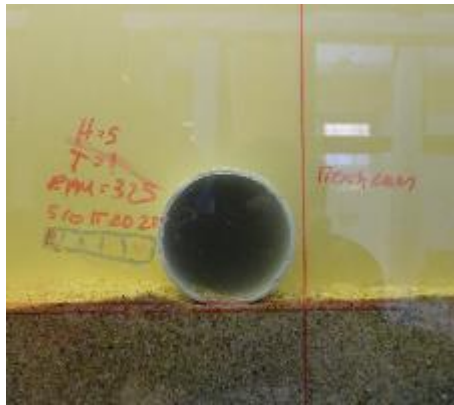
(e)



(e)

Gambar 4. Pengamatan *scouring* pipa kondisi meletak dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 6,667 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0.701 \text{ s}$, (a) $t = 0$ menit (b) $t = 5$ menit, (c) $t = 10$ menit, (d) $t = 15$ menit, (e) $t = 20$ menit, (f) $t = 25$ menit.

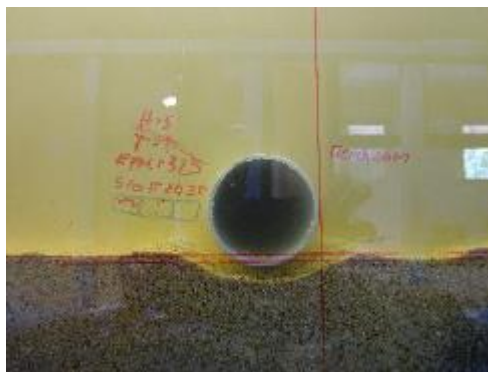
B.5 Pipa Kondisi $e/D = -0.05$ $H_{avg} = 8,3787$ cm dan $T_{avg} = 0,9009$ s $V_{arus}=10$ cm/s



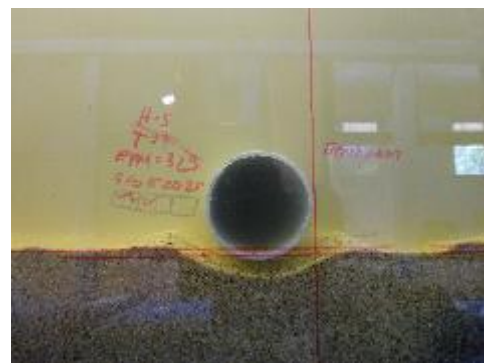
(a)



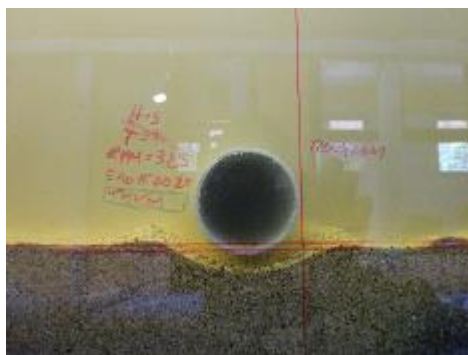
(b)



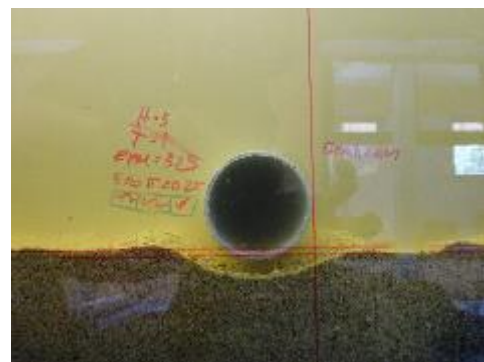
(c)



(d)



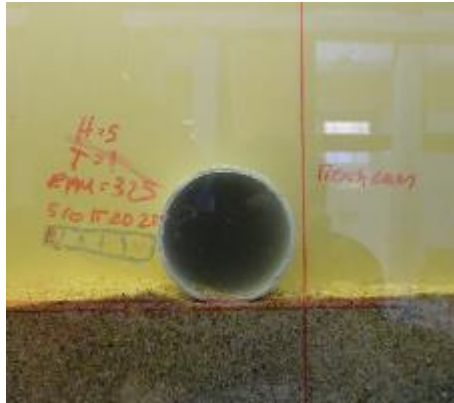
(e)



(f)

Gambar 5. Pengamatan *scouring* pipa kondisi meletak dengan $V_{arus} = 14$ cm/s, $H_{avg} = 8,3787$ cm dan $T_{avg} = 0,9009$ s $V_{arus}=10$ cm/s, (a) $t = 0$ menit (b) $t = 5$ menit, (c) $t = 10$ menit, (d) $t = 15$ menit, (e) $t = 20$ menit, (f) $t = 25$ menit.

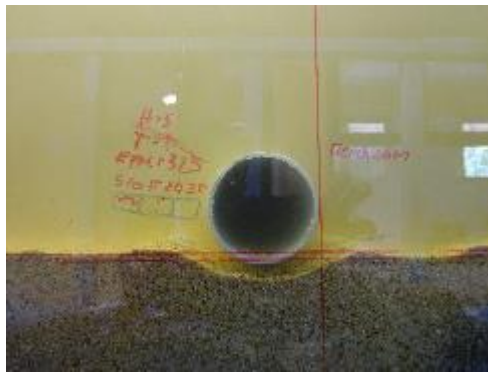
B.6 Pipa Kondisi $e/D = -0.05$ $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,12 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,92$



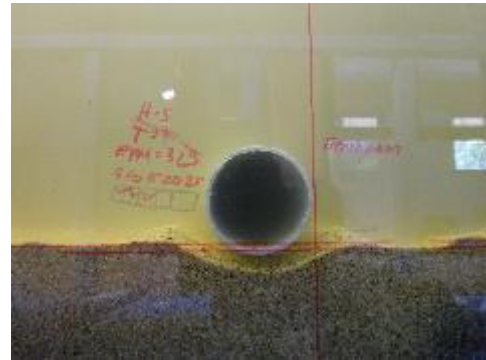
(a)



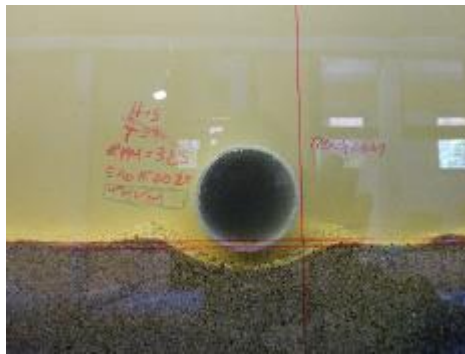
(b)



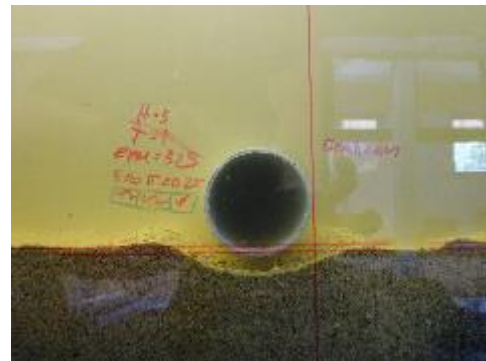
(c)



(d)



(e)



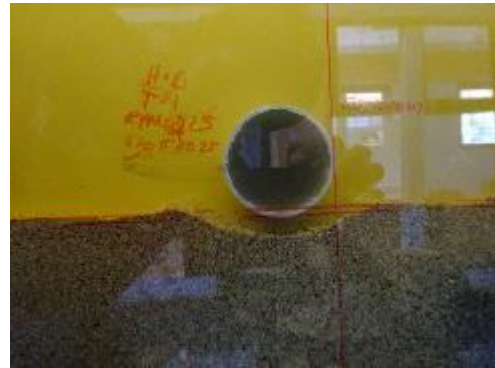
(f)

Gambar 6. Pengamatan *scouring* pipa kondisi meletak dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,12 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,92$, (a) $t = 0$ menit, (b) $t = 5$ menit, (c) $t = 10$ menit, (d) $t = 15$ menit, (e) $t = 20$ menit, (f) $t = 25$ menit.

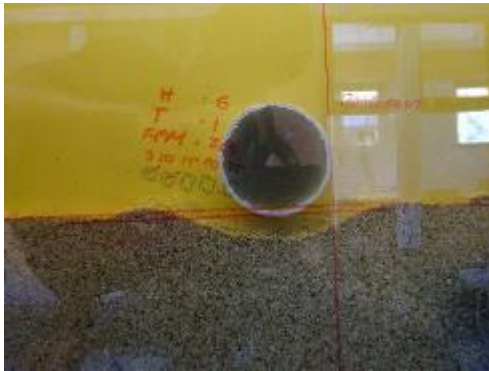
**B.7 Pipa Kondisi $e/D = -0.05$ $H_{avg} = 8,3787$ cm dan $T_{avg} = 0,9009$ s
 $V_{arus}=10\text{cm/s}$**



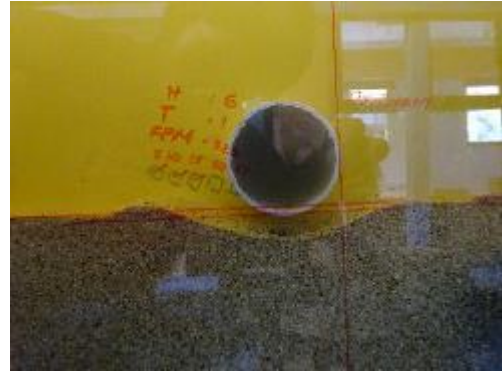
(a)



(b)



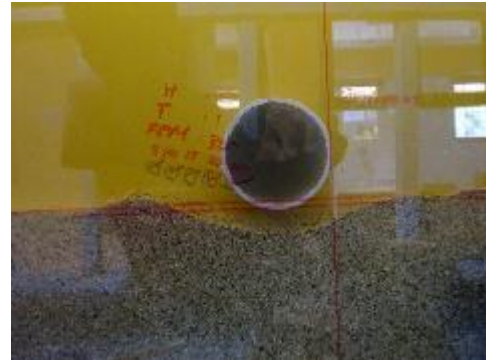
(c)



(d)



(e)



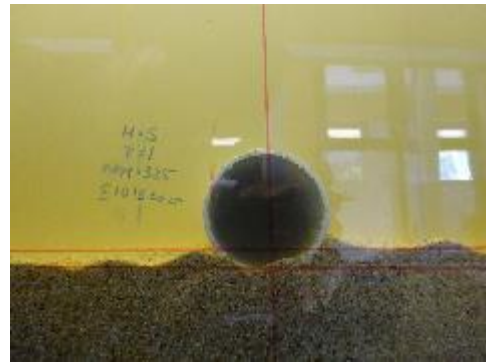
(f)

Gambar 7. Pengamatan *scouring* pipa kondisi meletak dengan $V_{arus} = 10$ cm/s, $H_{avg} = 8,3787$ cm dan $T_{avg} = 0,9009$ s, (a) $t = 0$ menit (b) $t = 5$ menit, (c) $t = 10$ menit, (d) $t = 15$ menit, (e) $t = 20$ menit, (f) $t = 25$ menit.

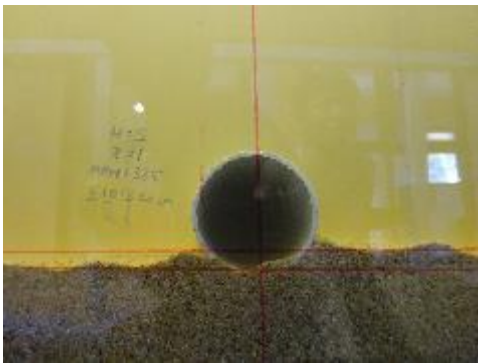
B.8 Pipa Kondisi $e/D = -0.05$ $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,99 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.



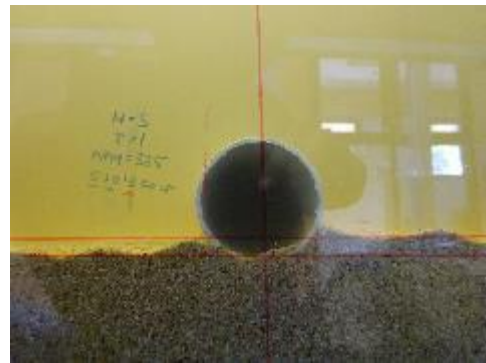
(a)



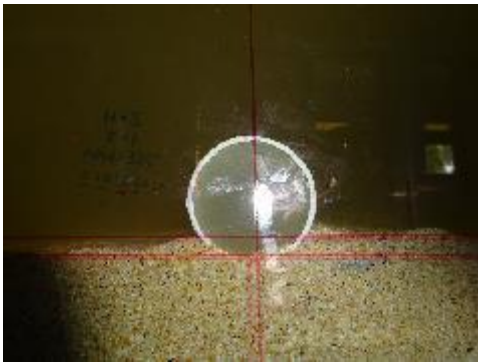
(b)



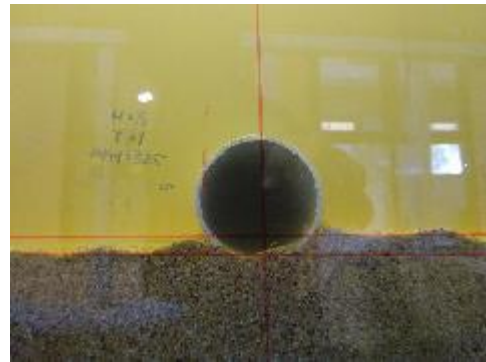
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 8. Pengamatan *scouring* pipa kondisi meletak dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,99 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$, (a) $t = 0$ menit (b) $t = 5$ menit, (c) $t = 10$ menit, (d) $t = 15$ menit, (e) $t = 20$ menit, (f) $t = 25$ menit.

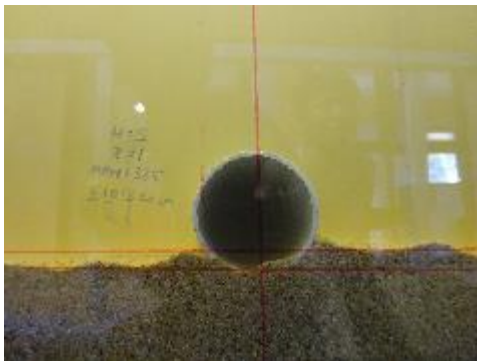
B.9 Pipa Kondisi $e/D = -0.105$ $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,46 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.



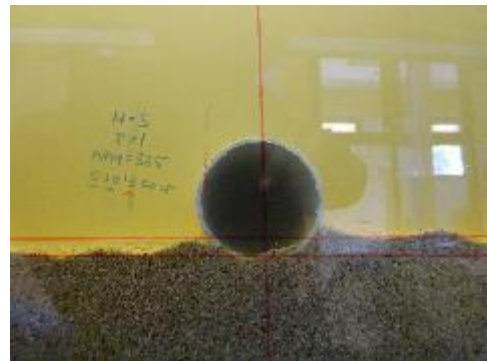
(a)



(b)



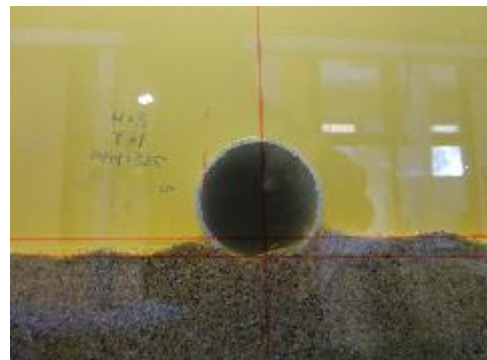
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 9. Pengamatan *scouring* pipa kondisi meletak dengan $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 8,46 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$., (a) $t = 0$ menit (b) $t = 5$ menit, (c) $t = 10$ menit, (d) $t = 15$ menit, (e) $t = 20$ menit, (f) $t = 25$ menit.

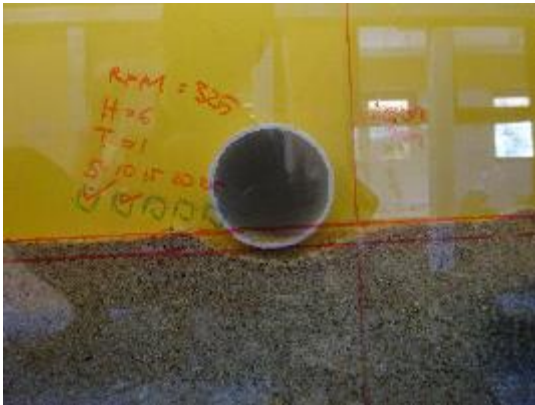
B.10 Pipa Kondisi $e/D = -0.105$ $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 7,99 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93 \text{ s}$.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



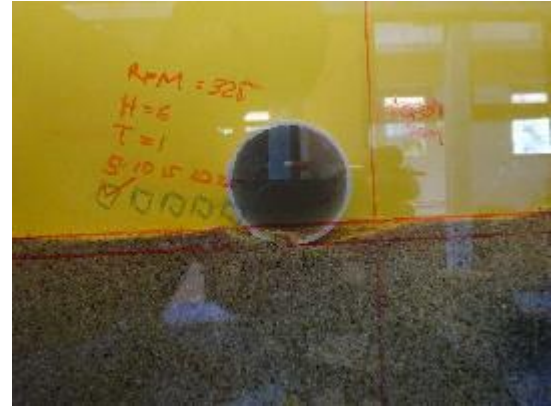
(f)

Gambar 10. Pengamatan *scouring* pipa kondisi meletak dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 7,99 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93$., (a) $t = 0$ menit (b) $t = 5$ menit, (c) $t = 10$ menit, (d) $t = 15$ menit, (e) $t = 20$ menit, (f) $t = 25$ menit.

B.11 Pipa Kondisi $e/D = -0.105$ $V_{\text{arus}} = 10 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 9,70 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,97\text{s}$



(a)



(b)



(c)



(d)



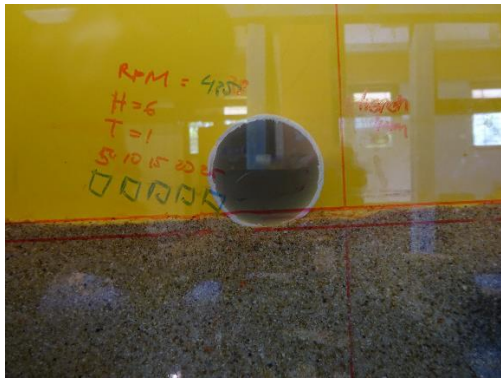
(e)



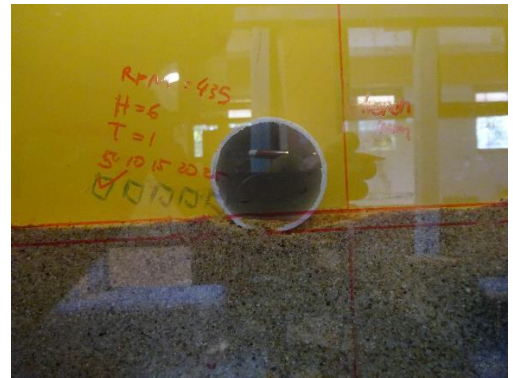
(f)

Gambar 11. Pengamatan *scouring* pipa kondisi meletak dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 7,99 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,93.$, (a) $t = 0$ menit (b) $t = 5$ menit, (c) $t = 10$ menit, (d) $t = 15$ menit, (e) $t = 20$ menit, (f) $t = 25$ menit.

B.12 Pipa Kondisi e/D = -0.105 $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 9,58 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,92 \text{ s}$.



(a)



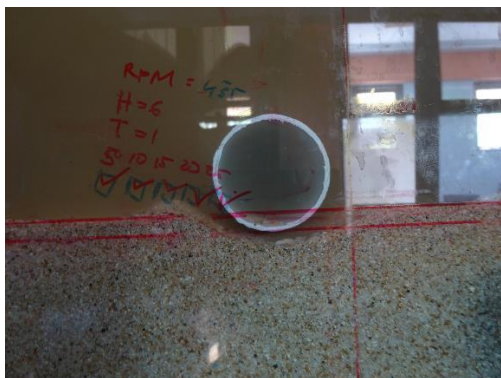
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 12. Pengamatan *scouring* pipa kondisi meletak dengan $V_{\text{arus}} = 14 \text{ cm/s}$, $H_{\text{avg}} = 9,58 \text{ cm}$ dan $T_{\text{avg}} = 0,92 \text{ s}$, (a) $t = 0$ menit (b) $t = 5$ menit, (c) $t = 10$ menit, (d) $t = 15$ menit, (e) $t = 20$ menit, (f) $t = 25$ menit.

LAMPIRAN C

DATA HUBUNGAN *SCOURING* DENGAN PARAMETER TAK BERDIMENSI

C.1 Data hubungan antara wave steepness parameter (H/gT^2) dengan non dimensional scour depth (S_m/D)

Tabel 1. Data hubungan antara wave steepness parameter (H/gT^2) dengan non dimensional scour depth (S_m/D)

Percobaan		H/gT^2	S_m/D	Kondisi Pipa
H_{avg} (cm)	T_{avg} (s)			
0.065	0.983	6.87E-05	0.232	Meletak
0.061	0.949	6.94E-05	0.235	
0.071	0.983	7.52E-05	0.237	
0.073	0.999	7.45E-05	0.275	
0.064	0.904	8E-05	0.237	Trench 2mm
0.062	0.913	7.57E-05	0.279	
0.071	0.965	7.78E-05	0.291	
0.065	0.904	8.12E-05	0.309	
0.065	0.946	7.41E-05	0.000	Trench 4mm
0.063	0.922	7.6E-05	0.000	
0.075	0.965	8.25E-05	0.262	
0.077	0.921	9.2E-05	0.276	

C.2 Data hubungan antara wave steepness parameter (H/gT^2) dengan non dimensional scour width (W_m/D)

Tabel 2. Data hubungan antara wave steepness parameter (H/gT^2) dengan non dimensional scour width (W_m/D)

Percobaan		H/gT^2	W_m/D	Kondisi Pipa
H_{avg} (cm)	T_{avg} (s)			
0.065	0.983	6.87E-05	1.446	Meletak
0.061	0.949	6.94E-05	1.532	
0.071	0.983	7.52E-05	1.614	
0.073	0.999	7.45E-05	1.890	
0.064	0.904	8E-05	1.506	Trench 2mm
0.062	0.913	7.57E-05	1.666	
0.071	0.965	7.78E-05	1.993	
0.065	0.904	8.12E-05	1.923	
0.065	0.946	7.41E-05	0.726	Trench 4mm
0.063	0.922	7.6E-05	0.765	
0.075	0.965	8.25E-05	1.543	
0.077	0.921	9.2E-05	1.474	

C.3 Data hubungan antara bilangan KC dengan non dimensional scour depth (S_m/D)

Tabel 3. Data hubungan antara bilangan KC dengan non dimensional scour depth (S_m/D)

Percobaan		D (cm)	KC	S_m/D
H_{avg} (cm)	T_{avg} (s)			
6.51	0.98	3.81	2.637	0.23207
6.13	0.95	3.81	2.446	0.23477
7.13	0.98	3.81	2.901	0.23691
7.30	1.00	3.81	3.481	0.27472
6.41	0.90	3.81	2.460	0.23750
6.19	0.91	3.81	2.413	0.27929
7.10	0.96	3.81	3.046	0.29144
6.51	0.90	3.81	2.806	0.30921
6.51	0.95	3.81	2.735	0.00000
6.33	0.92	3.81	2.488	0.00000
7.54	0.97	3.81	3.765	0.26237
7.66	0.92	3.81	2.594	0.27619

C.4 Data hubungan antara bilangan KC dengan non dimensional scour width (W_m/D)

Tabel 4. Data hubungan antara bilangan KC dengan non dimensional scour width (W_m/D)

Percobaan		D (cm)	KC	W_m/D
H_{avg} (cm)	T_{avg} (s)			
6.51	0.98	3.81	2.64	1.44588
6.13	0.95	3.81	2.45	1.53176
7.13	0.98	3.81	2.90	1.61402
7.30	1.00	3.81	3.48	1.88979
6.41	0.90	3.81	2.46	1.50604
6.19	0.91	3.81	2.41	1.66562
7.10	0.96	3.81	3.05	1.99257
6.51	0.90	3.81	2.81	1.92307
6.51	0.95	3.81	2.74	0.72643
6.33	0.92	3.81	2.49	0.76452
7.54	0.97	3.81	3.77	1.54253
7.66	0.92	3.81	2.59	1.47359

C.5 Data hubungan antara *buried* depth-diameter ratio (e/D) dengan non dimensional scour depth (S_m/D)

Tabel 5. Data hubungan antara *buried* depth-diameter ratio (e/D) dengan non dimensional scour depth (S_m/D)

Percobaan		D (cm)	KC	e/D	S_m/D
H_{avg} (cm)	T_{avg} (s)				
6.509	0.983	3.810	2.637	0.000	0.232
6.133	0.949	3.810	2.446	0.000	0.235
7.134	0.983	3.810	2.901	0.000	0.237
7.301	0.999	3.810	3.481	0.000	0.275
6.410	0.904	3.810	2.460	-0.050	0.237
6.190	0.913	3.810	2.413	-0.050	0.279
7.099	0.965	3.810	3.046	-0.050	0.291
6.510	0.904	3.810	2.806	-0.050	0.309
6.507	0.946	3.810	2.735	-0.105	0.000
6.335	0.922	3.810	2.488	-0.105	0.000
7.536	0.965	3.810	3.765	-0.105	0.262
7.656	0.921	3.810	2.594	-0.105	0.276

C.6 Data hubungan antara *buried* depth-diameter ratio (e/D) dengan non dimensional scour width (W_m/D)

Tabel 6. Data hubungan antara *buried* depth-diameter ratio (e/D) dengan non dimensional scour width (W_m/D)

Percobaan		D (cm)	KC	e/D	W_m/D
H_{avg} (cm)	T_{avg} (s)				
6.509	0.983	3.810	2.637	0.000	1.446
6.133	0.949	3.810	2.446	0.000	1.532
7.134	0.983	3.810	2.901	0.000	1.614
7.301	0.999	3.810	3.481	0.000	1.890
6.410	0.904	3.810	2.460	-0.050	1.506
6.190	0.913	3.810	2.413	-0.050	1.666
7.099	0.965	3.810	3.046	-0.050	1.993
6.510	0.904	3.810	2.806	-0.050	1.923
6.507	0.946	3.810	2.735	-0.105	0.726
6.335	0.922	3.810	2.488	-0.105	0.765
7.536	0.965	3.810	3.765	-0.105	1.543
7.656	0.921	3.810	2.594	-0.105	1.474

C.7 Data hubungan antara *shield parameter* (θ) dengan non dimensional scour depth (S_m/D)

Tabel 7. Data hubungan antara *shield parameter* (θ) dengan non dimensional scour depth (S_m/D)

Percobaan		A	A/ k_s	f_w	τ_w	θ_w	S_m/D
H_{avg} (cm)	T_{avg} (s)						
5.55	2.02	0.016	14.54	0.059	0.265	0.027	0.232
5.63	2.03	0.015	13.48	0.061	0.241	0.024	0.235
5.99	2.04	0.018	15.99	0.056	0.305	0.031	0.237
5.22	2.01	0.021	19.19	0.051	0.361	0.036	0.275
6.08	2.17	0.015	13.56	0.061	0.248	0.025	0.237
6.37	2.15	0.015	13.30	0.062	0.241	0.024	0.279
6.92	2.06	0.018	16.79	0.055	0.316	0.032	0.291
6.57	2.18	0.017	15.47	0.057	0.296	0.030	0.309
6.95	2.07	0.017	15.08	0.058	0.279	0.028	0.000
6.48	2.16	0.015	13.72	0.061	0.248	0.025	0.000
7.05	2.06	0.023	20.76	0.049	0.381	0.038	0.262
6.66	2.07	0.016	14.30	0.059	0.274	0.027	0.276

C.8 Data hubungan antara *shield parameter* (θ) dengan non dimensional scour width (W_m/D)

Tabel 8. Data hubungan antara *shield parameter* (θ) dengan non dimensional scour width (W_m/D)

Percobaan		A	A/ k_s	f_w	τ_w	θ_w	W_m/D
H_{avg} (cm)	T_{avg} (s)						
5.55	2.02	0.016	14.537	0.059	0.265	0.027	1.446
5.63	2.03	0.015	13.481	0.061	0.241	0.024	1.532
5.99	2.04	0.018	15.991	0.056	0.305	0.031	1.614
5.22	2.01	0.021	19.191	0.051	0.361	0.036	1.890
6.08	2.17	0.015	13.559	0.061	0.248	0.025	1.506
6.37	2.15	0.015	13.301	0.062	0.241	0.024	1.666
6.92	2.06	0.018	16.793	0.055	0.316	0.032	1.993
6.57	2.18	0.017	15.469	0.057	0.296	0.030	1.923
6.95	2.07	0.017	15.077	0.058	0.279	0.028	0.726
6.48	2.16	0.015	13.717	0.061	0.248	0.025	0.765
7.05	2.06	0.023	20.757	0.049	0.381	0.038	1.543
6.66	2.07	0.016	14.299	0.059	0.274	0.027	1.474

LAMPIRAN D

DATA PERBANDINGAN HASIL EKSPERIMEN DENGAN PENELITIAN LAIN

D.1 Perbandingan Hasil Eksperimen pengaruh e/D terhadap non dimensional *scour depth* (S_m/D).

Tabel 9. Perbandingan Hasil Eksperimen pengaruh e/D terhadap non dimensional *scour depth* (S_m/D).

Eksperimen		Penelitian Lain							
$(e/D)_{KC}$ 5,5	$(S_m/D)_{KC}$ 5,5	$(e/D)_{KC}$ 5,5	$(S_m/D)_{KC}$ 5,5	$(e/D)_{KC}$ 11	$(S_m/D)_{KC}$ 11	$(e/D)_{KC<15}$	$(S_m/D)_{KC}$ 11	$(e/D)_{KC}$ 900	$(S_m/D)_{KC}$ 900
0.0000	0.2321	0.0000	0.2257	-0.4700	0.9830	0.2600	0.3400	-0.7000	2.1500
0.0000	0.2348	0.0000	0.2730	0.0378	0.8650	0.3000	0.1700	-0.5000	2.1800
0.0000	0.2369	0.0000	0.2756	0.2710	0.6370	0.5000	0.1600	0.0000	2.3500
-0.0525	0.2747	-0.0525	0.1942	0.5000	0.2670	0.7000	0.1090	0.0000	2.5000
-0.0525	0.2375	-0.0525	0.2205	2.0000	0.0430	1.0000	0.0290	1.0000	1.3900
-0.0525	0.2793	-0.0525	0.2493					2.0000	1.2800
-0.0525	0.2914	-0.0787	0.0000						
-0.1050	0.3092	-0.0787	0.0262						
-0.1050	0.0000	-0.0787	0.0525						
-0.1050	0.0000	-0.1050	0.0000						
-0.1050	0.2624	-0.1050	0.0000						
-0.1050	0.2762	-0.1050	0.0341						

BIODATA PENULIS



Dicky Damara dilahirkan di Klaten, 24 Juni 1997, merupakan anak terakhir dari dua bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal mulai dari TK Pertiwi Mandong II, SD N II Keden, SMP N 1 Pedan hingga SMA N 1 Cawas – Klaten. Setelah lulus SMA tahun 2014, penulis langsung melanjutkan jenjang pendidikan di perkuliahan melalui jalur SNMPTN Bidik Misi dan diterima di Departemen Teknik Kelautan – FTK – Institut Teknologi

Sepuluh Nopember pada tahun 2014. Penulis terdaftar dengan NRP 04311440000001. Selama perkuliahan penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan yaitu sebagai Staff Departemen Media Informasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (HIMATEKLA ITS). Penulis juga aktif di organisasi ekstra kampus yaitu di Studi Group 10 Nopember. Selain mengenyam pendidikan formal, penulis juga belajar pendidikan in-formal di Pondok Pesantren Mahasiswa Khoirul Huda 2 (PPMKH2) selama kurang lebih dua tahun. Pada tahun 2017, penulis diterima untuk belajar Kerja Praktek di PT. Daya Radar Utama Unit Lampung – Indonesia dan berkesempatan untuk mempelajari proses konstruksi kapal LST-4 (*Landing Ship Tank*) atau kapal pengangkut tank yang dipesan oleh TNI AL Indonesia. Selama perkuliahan penulis mengambil bidang keahlian Teknik dan Manajemen Pantai (*Coastal Engineering and Management*). Apabila terdapat pertanyaan perihal tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis pada alamat email sebagai berikut dickydamara01@gmail.com.